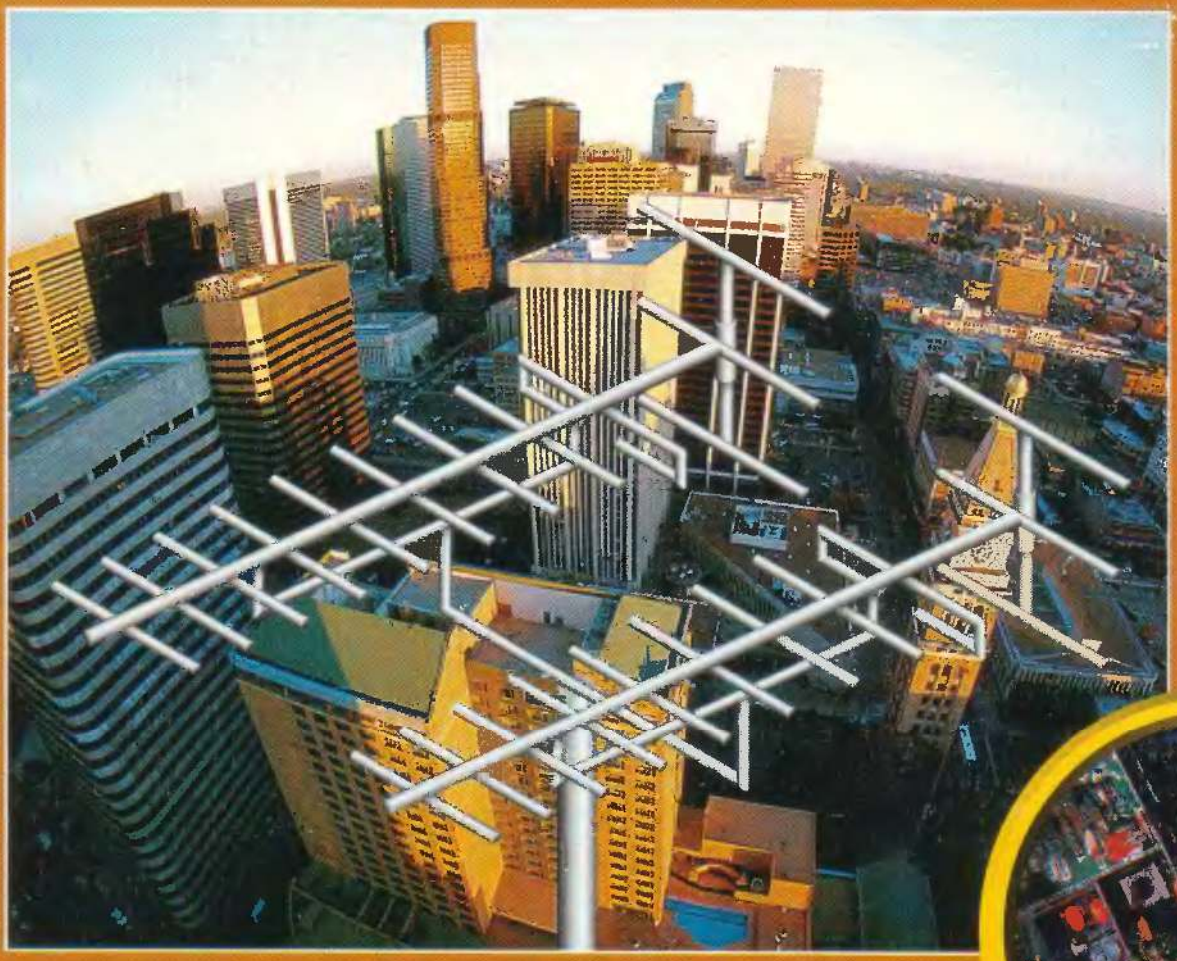
И.Н.ГРИГОРОВ

АНТЕННЫ

ГОРОДСКИЕ КОНСТРУКЦИИ



КНИЖНАЯ ПОЛКА РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

Рассматриваются антенны, которые радиолюбители могут установить в условиях города. Приводятся практические конструкции антенн для всех радиолюбительских КВ диапазонов, СВ диапазона 27 МГц и для УКВ диапазона 144 МГц, описана методика их настройки. Теоретические сведения приведены в минимальном объеме, необходимом при построении описанных здесь антенн.

Книга предназначена как для подготовленных, так и для начинающих радиолюбителей, проживающих в городской местности или имеющих ограниченные условия по месту установки антенн.

Редакцией сохранены особенности стиля автора.

Григоров И. Н.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 10

Часть 1. Вертикальнывь антенны 11
1. Простые вертикальные антенны 11
   1.1. Неразрывный вибратор 11
   1.2. Практическое выполнение полуволновых штырей 15
   1.3. Коллинеарные антенны 22
   1.4. Укороченные витые антенны 25
2. Многодиапазонные вертикальные антенны 28
   2.1. Трехдиапазонная вертикальная антенна 29
   2.2. Трехдиапазонная антенна для низкочастотных дивпазонов 30
   2.3. Вертикальный штырь в работе многодиапазонной антенны 31
   2.4. Антенна UA1DZ 33
   2.5. Многодиапазонные вертикальные антенны с заградительными контурами 35
   2.6. Open Sleeve 38
3. Короткие вертикальные антенны низкочастотных КВ диапазонов 43
   3.1. Сопротивление излучения короткой вертикальной антенны 44
   3.2. Настройка в резонанс коротких вертикальных антенн 44
   3.3. Емкостная нагрузка короткой вертикальной антенны 45
   3.4. Измерение параметров емкостной нагрузки и определение индуктивности удлиняющей катушки 46
   3.5. Местоположение удлиняющей катушки на антенне 47
   3.6. Настройка антенны с помощью переменного конденсатора 49
   3.7. Подстройка антенны в процессе работы 50
   3.8. Согласование укороченной вертикальной антенны с коаксиальным кабелем 50
   3.9. Вертикальная антенна с емкостной нагрузкой для реботы в нескольких диапазонах 51
4. Антенны из коаксиального кабеля 52
   4.1. Дипольная коаксиальная антенна 52
   4.2. Резонаторная дипольная антенна 53
   4.3. Несимметричные вертикальные антенны нв основв коаксиального кабеля 54
   4.4. Простая несимметричная антенна 56
   4.5. J-антенна из коаксиального кабеля 57
   4.6. Двухдиапазонная резонаторная дипольная антенна из коаксиального кабеля 59
   4.7. Двухдиапазонная резонаторная вертикальная антенна из коаксиального кабеля 60
   4.8. Простая вертикальная на диапазонах 2/10 м антенна из коаксиального кабеля 60
5. Широкополосные несимметричные антенны 61
   5.1. Несимметричные плоскостные вибраторы 61
   5.2. Комбинированные вертикальные плоские широкополосные антенны 63
   5.3. Несимметричный шунтовой плоскостной вибратор 64
   5.4. Конические вибраторы 65
   5.5. Конические шунтовые вибраторы 66
   5.6. Экспоненциальные антенны 67
   5.7. Радиолюбительские экспоненциальные антенны СССР 67
   5.8. Экспоненциальная антенна типа W2EEY 68

5.9. Квазиэкспоненциальная антенна 70
5.10. Шунтовые экспоненциальные антенны 70
5.11. Плоскостные экспоненциальные вибраторы 71
5.12. Радиолюбительские экспоненциальные плоскостные вибраторы 73
6. Вертикальные антенны «BOBTAIL CURTAIN» 74
6.1. Работа антенны 74
6.2. Питание антенн «BOBTAIL» 77
6.3. Сложные антенны «BOBTAIL» 79
6.4. Практическое выполнение антенн «BOBTAIL» 81
7. Согласование вертикальных антенн 82
7.1. Согласование четвертьволновых штыревых антенн с помощью наклона противовесов 83
7.2. Вертикальные несимметричные антенны с вертикальным расположечием противоввсов 85
7.3. Коэффициент укорочения вертикальной антенны 85
7.4. Гамма-согласование штыревых антенн 87
7.5. Согласование вертикальных антенн длиной, отличной от четверти волны 90
7.6. Согласование электрически длинной вертикальной антенны с входным сопротивлением 36—100 Ом 93
7.7. Согласование укороченных штырей с входным сопротивлением 15—36 Ом 94
7.8. Питание укороченных вертикальных антенн с аходным сопротивленивм мвнее 15 0м 96
7.9. Согласование вертикальных антенн с входным сопротивленивм 100—1000 Ом 96
7.10. Согласование трансформирующей цепью 98
7.11. Вертикальные антенны возимых служебных УКВ радиостанций 100

Часть 2. Антенны бегущей волны 103
8. Антенна бегущей волны T2FD 103
8.1. Широкополосный нагруженный вибратор 103
8.2. Размеры антенны T2FD 104
8.3. Усиление антенны T2FD 105
8.4. Входное сопротивление и нагрузка антенны T2FD 106
8.5. Нагрузочный резистор антенны T2FD 106
8.6. Мощность, рассеиваемая в нагрузке 107
8.7. Питание антенны T2FD 110
8.8. Настройка антенны T2FD 111
8.9. Теория работы антенны T2FD 111
8.10. Несимметричная антенна T2FD 115
9. Городские антенны Бевереджа 117
9.1. Согнутая антенна Бевереджа 118
9.2. Антенная система с изменяемой диаграммой направленности 118
9.3. Городская антенна бегущей волны 120
10. Подземные и стелющиеся антенны 123
10.1. Как это начиналось 123
10.2. История стелющихся и подземных антенн 124
10.3. Развитие подземных антенн 124
10.4. Работа подземной и стелющейся антенны 126
10.5. Входное сопротиаление стелющейся антенны 127
10.6. Длина стелющейся антенны 128
10.7. Типы стелющихся антенн 128
10.8. КПД, КНД стелющихся антенн 129

10.9. Вертикальные подземные антенны 129
10.10. Пещерные антенны 130
10.11. Материал для построения стелющихся и подземных антенн 131
10.12. Подземные радиоцентры 131
10.13. Конструкция подземного радиоцентра коротких волн 132
10.14. Подземные радиоцентры сверхдлинных волн 133
10.15. Радиолюбительские стелющився антенны 135
10.16. Эксперименты со стелющейся антенной 136
10.17. Практическое выполнение радиолюбительской стелющейся антенны 136
10.18. Нагрузка стелющейся антенны 137

Часть 3. Антенны зенитного излучения 138
11. Начало антенн зенитного излучения 138
11.1. Что такое антенна зенитного излучения? 138
11.2. Первые антенны зенитного излучения 138
11.3. Зенитные антенны помогают открыть слой Хевисайда 140
11.4. Зенитные антенны доказывают существование слоя Хевисайда 141
11.5. Ионосферные станции 142
12. Антенны зенитного излучения наступают 143
12.1. SETI 144
12.2. Автомобильные зенитные антенны 144
12.3. Круговая поляризация при работе зенитных антенн 146
12.4. Виды связи с использованием зенитной антенны 148
12.5. Работа зенитных антенн возимых станций 150
12.6. Эффективность работы антенн зенитного излучения коротких волн 151
13. Стационарные зенитные антенны 151
13.1. Турникетная зенитная антенна 152
13.2. Стационарная зенитная антенна с острой диаграммой направленности 153
13.3. Стационарная зенитная антенна с квадратными излучателями 154
13.4. Простые антенны зенитного излучения 155
14. Практические конструкции мобильных зенитных КВ антенн 156
14.1. Танковые антенны зенитного излучения 157
14.2. Простая вертикальная танковая антенна зенитного излучения 158
14.3. Танковые зенитные антенны для работы с эллиптической поляризацией 159
14.4. Горизонтальные зенитные антенны на машинах связи 160
14.5. Рамочная дипольная зенитная антенна 161
14.6. Свернутый зенитный диполь 162
14.7. Широкополосный зенитный диполь 162
14.8. Магнитные автомобильные антенны 164
14.9. Антенны DDRR в военной связи 165
15. Антенны возимых радиостанций 166
15.1. Особенности работы на трансивере из автомобиля 167
15.2. Установка трансивера в автомобиле 167
15.3. Штыревые антенны возимых станций 168
15.4. Согласование штыревых автомобильных антенн 169
15.5. Входное сопротиление автомобильной штыревой антенны 171
15.6. Установка антенны в автомобиле 171
15.7. Суррогатные автомобильные вертикальные антенны 172

15.8. Согласующее устройство автомобильной вертикальной антенны с базовой катушкой 173
15.9. Спирвльная вертикальная автомобильная антенна 173
15.10. Антенна DDRR в возимых станциях 174
15.11. Щелевыв автомобильные антенны 175
15.12. Рамочные автомобильные антенны 176
16. Развитие антенн зенитного излучения 176
16.1. Послевоенное развитие коротковолновых антенн зенитного излучения 176
16.2. Современные зенитные антенны 177

Часть 4. Антенны УКВ 179
17. Простые антенны диапазона 145 МГц 179
17.1. Особенности антенн диапазона 145 МГц 179
17.2. Простые антенны 180
17.3. Самодельные антенны переносной радиостанции 182
17.4. Полуволновая полевая антенна 182
17.5. Оконные антенны на основе фольги 183
17.6. Вертикальная оконная дипольная антенна 184
17.7. Рамочная оконная антенна на основе фольги 184
17.8. Наружная вертикальная антенна 185
17.9. Простая коаксиальная коллинеарнвя антенна 185
17.10. Простая коллинеарная антенна 187
17.11. Экспериментальная 5/8-волновая антенна 188
17.12. Эффективная антенна первносной радиостанции 189
17.13. Вертикальные неразрывные антенны с гамма-согласованием 190
17.14. Круглая УКВ антенна 192
17.15. Пассивный «усилитель» переноооной станции 193
17.16. Широкополосная обзорная антенна 194
17.17. Зигзагообразная антенна 194
17.18. Антенна Харченко в диапазоне 145 МГц 195
17.19. Рамочные направленные антенны для диапазона 145 МГц 197
17.20. Рамочная антенна с круговой поляризацией 198
17.21. Промышленные антенны для диапазона 145 МГц 198
18. Полуволновые антенны с резонаторным питанием 199
18.1. Простая J-антенна 199
18.2. Настройка J-антенны 200
18.3. Размеры J-антенны 201
18.4. Двухдиапазонная J-антенна 202
18.5. Направлвнная J-антенна 203
18.6. Полевая J-антенна с комбинированным питанием 203
18.7. Ленточные J-антенны 204
18.8. Питание ленточной J-антенны 205
18.9. Настройка ленточной J-антенны 206
18.10. Работа ленточной J-антенны 207
19. Простые коллинеарные J-антенны 208
19.1. Конструкция коллиневрной J-антенны 208
19.2. Питание коллинеарной J-антенны 208
19.3. Настройка коллиневрной J-антенны 210
19.4. Конструкция четвертьволнового резонатора 210
19.5. Крепление фазосдвигающих отрезков 212
19.6. Упрощенная конструкция коллинеарной J-антенны 212
19.7. Коллинеарнвя J-антенна с удлиненными элементами 213

19.8. Установка коллинеарной J-антенны в полевых условиях 214
19.9. Установка коллинеарной J-антенны в стационарных условиях 214

Часть 5. Загадки прохождения 217
20. Ай-Петринский эффект 217
20.1. Ай-Петринский эффект 217
20.2. Электротехническое заземление антенн 219
20.3. Ай-Петринский эффект зимой 220
21. Сопряженные точки Земли и распространение радиоволн 222
21.1. Миф QRP 223
21.2. Сопряженные точки Земли 223
21.3. Сопряженные точки в ионосфере Земли 224
21.4. Откуда происходят сопряженные точки 224
21.5. Типы сопряженных точек Земли 225
21.6. Обнаружение ЧП и БП 226
21.7. Радиосвязь из сопряженных мест 227
21.8. Заключение 228
22. Феномен LDE 230
22.1. Открытие LDE 230
22.2. Исследование LDE 230
22.3. LDE под запретом 231
22.4. Официальные версии появления LDE 232
22.5. LDE и НЛО 233
22.6. Современные эксперименты не объясняют LDE 233
22.7. Заключение 234
23. Свистящие атмосферики 234
23.1. Что это за явление? 235
23.2. История обнаружения «свистящих атмосфериков» 236
23.3. Прием «свистящих атмосфериков» в городе 237
23.4. Простой сверхнизкочастотный приемник 238
23.5. Прием «свистящих атмосфериков» на Ай-Петри 239
24. Первая трансокеанская радиосвязь 241
24.1. Первые изобретатели радио 242
24.2. Успехи Маркони 242
24.3. Открытие слоя Хевисайда было впереди 243
24.4. Подготовка к первой трансатлантической связи 243
24.5. Первая трансатлантичвская радиосвязь 245
24.6. Сколько это стоило 245
24.7. А в это время в других странах... 245
24.8. Post scriptum 245
25. Загадка Маркони 246
25.1. Спор через века 246
25.2. Передатчик Флеминга 247
25.3. Длина волны передатчика Флеминга 247
25.4. Приемник Маркони 249
25.5. Приемная антенна Мврконн 250
25.6. Первый в мире регенеративный приемник 251
25.7. Ртутный когерер Bose 253
25.8. Работа на гармониках 254
25.9. Островной эффект 255
25.10. Удача Маркони 255
25.11. Послесловие 256
25.12. Post scriptum: Тесла помогает Маркони в установлении первой трансатлантической связи! 256

Приложения 259
Приложение 1. Работа на QRP 259
П1.1. Краткая история QRP 259
П1.1.1. Начало 259
П1.1.2. После Второй мировой войны 260
П1.1.3. Транзисторы вновь открывают QRP 260
П1.1.4. Развитие QRP-движения 261
П1.2. Невероятное QRP 262
П1.2.1. Ошибочное подключение антенны 262
П1.2.2. Связь на милливаттной мощности 263
П1.3. Прежде чем взять в поход трансивер 263
П1.3.1. Механическая защита трансивера 263
П1.3.2. Мощность и питание трансивера 264
П1.3.3. Чувствительность и стабильность трансивера 265
П1.3.4. Измерительные приборы трансивера 265
П1.3.5. Антенны трансивера 265
П1.3.6. Диапазоны работы 266
П1.3.7. Наушники, ключи и другие внешние устройства 266
П1.3.8. Безопасность при установке походных антенн 267
П1.4. Экспедиционные телеграфные ключи 267
П1.4.1. Ручной ключ QRP-экспедиции 267
П1.4.2. Электронное ключевание для экспедиционного электронного ключа 268
Приложение 2. Стабилизация частоты любительской аппаратуры 268
П2.1. Температурная нестабильность катушки и конденсатора 269
П2.1.1. Температурный коэффициент катушки и конденсатора 269
П2.1.2. Конденсаторы 269
П2.1.3. Стабилизация частоты при помощи конденсаторов 270
П2.1.4. Катушка индуктивности в схеме генератора 272
П2.1.5. Старые катушки 274
П2.2. Другие детали генератора 274
П2.2.1. Лампы и транзисторы 274
П2.2.2. Резисторы и питание 275
П2.3. Температурная инерция и термостатирование 275
П2.3.1. Чем больше, тем лучше 275
П2.3.2. Термостатирование 276
П2.4. Синтезаторы частоты 276
П2.4.1. Будущее за синтезаторами 276
Приложение 3. Аккумуляторы 276
П3.1. Зарядка аккумуляторов с помощью солнечных батарей 276
П3.1.1. Тип солнечной батареи 276
П3.1.2. Зарядка/подзарядка аккумуляторов 278
П3.1.3. Расчет параметров солнечной батареи 280
П3.1.4. Эксплуатация солнечных батарей 281
П3.1.5. Результаты испытания солнечных батарей 281
П3.1.6. Внимание: возможен перезаряд! 282
П3.1.7. Устранение эффекта памяти 283
П3.2. Поддержание аккумуляторов в рабочем состоянии 283
П3.2.1. Тренировочный ток аккумуляторов 283
П3.2.2. Схема тренировки аккумуляторов 284
П3.3. Получение большой мощности от никель-кадмиевых аккумуляторов (НКА) 284
П3.3.1. Эксплуатация аккумуляторов при больших разрядных токах 285
П3.3.2. Параллельное соединение аккумуляторов 285

Приложение 4. Цветовые коды радиодеталей 287
П4.1. Цветовая маркировка резисторов 287
П4.2. Цветовая маркировка конденсаторов 287
П4.3. Стандвртная цветовая маркировка отечественных транзисторов малой мощности 289
Приложение 5. Полезные формулы и диаграммы 290
П5.1. Диаграммы для мощности и напряжения 290
П5.2. Расчет трансформатора с Ш-образным сердвчником: 291
П5.3. Сопротивление провода 292
П5.4. Самодельные предохранители 292

ВВЕДЕНИЕ

Процесс урбанизации в мире стремительно растет. В начале XX века в городах проживало только 14% населения Земли. После 60-х годов XX века свыше 50% населения Земли жило в городах. К началу XXI века около 75% населения Земли живет в городах. Среди этого населения находятся и радиолюбители, на которых урбанистический образ жизни оказал значительно большее влияние, чем на представителей других видов хобби.

Двйствительно, для работы радиостанции необходима эффективная антенна. А всякая эффективная антенна требует для своего размвщения свободного пространства, дефицит которого остро наблюдается в городе. Давайте откроем многие старые добрые книги по антеннам и посмотрим на антенны, какие там предлагается поставить радиолюбителям. Увы, для их установки требуется много места, которого нет! Архитектурные требования также не всегдв позволяют установить большую антенну в городе.

И все же установить антенну в городе вполне возможно. Радиолюбитель, руководствуясь условиями, в которых он находится, вполне сможет выбрать из этой книги подходящую для него антенну. Здесь приведено описание множествв конструкций коротковолновых антенн различной сложности, рассчитанных для работы на одном или нескольких диапазонах или обеспечивающих широкополосную работу. Приведены конструкции простых УКВ антенн, рассчитанных для работы на диапазоне 144 МГц, и которые несложно установить в условиях города.

Специальная часть этой книги посвящена загадкам распространения радиоволн и работы антенн. В мире до сих пор еще много непонятного в этой области, и радиолюбители даже в XXI веке могут внести свой вклад в исследоввние многих загадочных явлений, которые сопровождают распространение радиоволн.

В книгу включен справочный материал, который будет полезен радиолюбителям, самостоятельно конструирующим маломощную передающую аппаратуру и работающим из полевых условий на этой аппаратуре. Даны советы по использованию аккумуляторов, по зарядке аккумуляторов при помощи солнечных батарей, приведены формулы, которые могут быть использованы в практической двятельности радиолюбителя.

Часть 1
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

В этой части книги описаны практические конструкции различных вертикальных антенн, которые радиолюбитель может установить в ограниченных условиях города.

Дано описание простых однодиапазонных вертикальных антенн и простых многодиапазонных вертикальных антенн. Рассмотрены вертикальные антенны, предназначенные для работы на низкочастотных диапазонах. Рассмотрены широкополосные вертикальные антенны, способные работать во всех любительских КВ диапазонах. Включена специальная глава, посвященная антеннам типа «Bobtail Curtain». Это одна из наиболее простых и эффективных коротковолновых антенн, которую можно установить в ограниченных пространствах города.

В конце первой части приведен материал, посвященный согласованию вертикальных антенн с линией питания. От правильного питания антенны и, следовательно, от качества согласования антенны с ее фидером зависит эффективность работы антенной системы и уровень радиопомех, которые возникают при работе антенны на передечу.

В этой части приведен в основном практический материал, посвященный конструкциям антенн и их работе. Теоретические сведения приводились в тех минимальных количествах, которые были необходимы для понимания работы той или иной антенны.

1. ПРОСТЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

В этой главе дано описание простых, но эффективных вертикальных антенн, которые можно использовать в условиях города.

Подборка антенн, представленных здесь, охватывает разные типы вертикальных антенн.

Из набора этих антенн радиолюбитель вполне может подобрать антенну, оптимально подходящую для него, соответствующую его конструкторским возможностям, опыту наладки вертикальных антенн и целям работы в эфире.

1.1. Неразрывный вибратор

Для этой антенны не требуется высококачественный опорный антенный изолятор. Для построения антенны используется неразрывная металлическая трубка или штырь. В городских условиях для конструкции таких вертикальных антенн можно использовать различные заземленные мачты, находящиеся на крыше дома. Это могут быть металлические штыри громоотводов или какие-либо другие заземленные мачты. Бывает, что радиолюбитель не имеет возможности приобрести хороший опорный изолятор. Вследствие этого он может установить только заземленную вертикальную металлическую мачту для создания вертикальной антенны.

Рассмотрим, каким же образом можно заставить работать металлическую мачту в качестве антенны. Наиболее просто для конструирования вертикальных антенн использовать заземленный неразрывный вертикальный вибратор, как это показано на рис. 1.1. Общая длина заземленного вибратора составляет $\lambda/2$, коаксиальный кабель подключен к середине вибратора. Нижняя половина антенны представляет собой четвертьволновой металлический изолятор. Дно металлического изолятора может быть заземлено на электротехническую и радиотехническую землю. Электротехническая земля необходима для стока электростатических зарядов, которые могут попасть на антенну в грозовой и предгрозовой период. Радиотехническая земля необходима для улучшения работы антенны. В качестве радиотехнической земли можно использовать несколько резонансных противовесов.

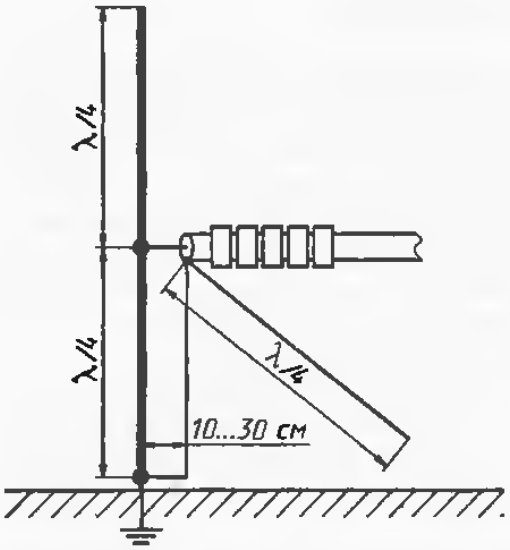


Рис. 1.1. Неразрывный вибратор

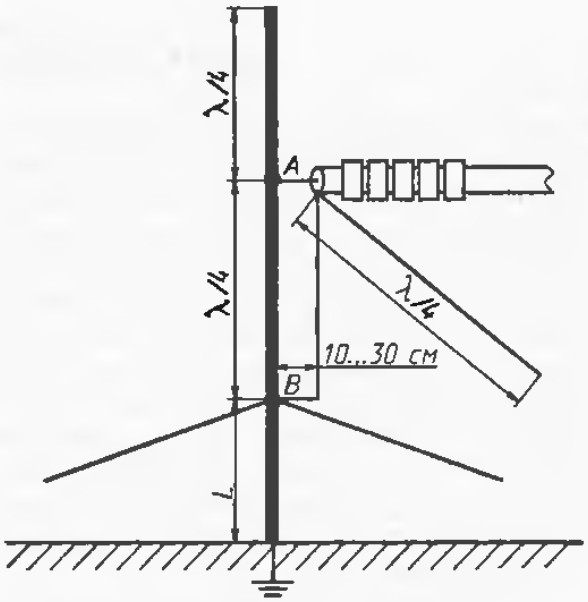


Рис. 1.2. Универсальный неразрывный вибратор

Таблица 1.1

Длины вибраторов при построении антенн для диапазонов 6—20 метров

Диапазон, м	Длина вибратора, см
20	506
17	398
15	336
12	294
11	260
10	252
6	141
2	49

Для улучшения работы антенны к оплетке коаксиального кабеля в месте подключения его центральной жилы к вибратору можно подключить несколько противовесов длиной λ/4. Эти противовесы могут быть использованы в качестве оттяжки вибратора антенны. Противовесы могут быть расположены практически под любым углом к вибратору внтенны. Противовесы и провод четвертьволнового изолятора могут быть выполнены из алюминиевого или медного провода диаметром 1—4 мм. В табл. 1.1 приведены длины вибраторое для еыполнения антенны для диапазонов 2—20 метров. В этой таблице не учтен коэффициент укорочения вибратора. Однако даже при выполнении антенны точно по размерам, указанным в данной таблице, антенна не требует настройки.

В реальной жизни по закону Мерфи свободная заземленная металлическая мачта всегда будет иметь высоту или большую, или меньшую, чем λ/2. Рассмотрим, конструкции антенны с использованием такой «неправильной» мачты случайной длины. Антенна в случае «длинной мачты» может быть еыполнена согласно рис. 1.2. В этой антенне дно четвертьволнового изолятора находится на металлической мачте на некоторой высоте *L* над землей.

Точную настройку антенны (рис. 1.2) е резонанс осуществляют путем изменения точек подключения центральной жилы *A* и соответственно точки подключения *B* дна четвертьволнового резонатора к мачте. Расстояние *L*, конечно, в этом случае будет меняться. Для эффективной работы антенны необходимо использовать не менее трех четвертьволновых противовесов, подключенных ко дну металлического изолятора.

Если длина заземленной мачты существенно меньше λ/2 и приближается к длине, равной λ/4, то для реализации вертикального неразрывного вибратора целесообразно использовать гамма(или омега)-согласование. Конструкция антен-

ны для этого случая приведена на рис. 1.3. Настройка такой антенны несложная. Сначала от верхнего конца заземленного штыря отмеряют длину, равную λ/4, для используемого антенной диапазона работы. Подключают к антенной мачте не менве трех резонансных противовасов. Следует обратить серьезное внимание на надежность электрического контакта этих противовесов с мачтами. После этого устанавливают элементы гамма или омега-согласования.

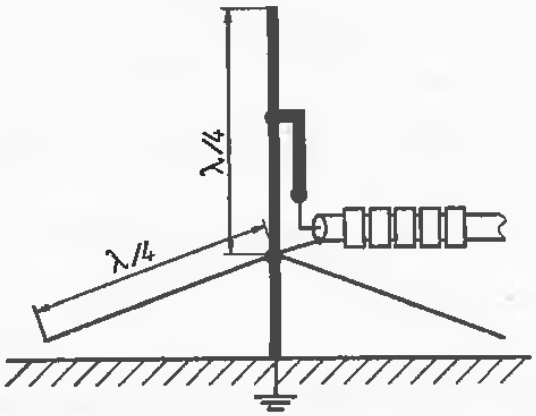


Рис. 1.3. Неразрывный вибратор с гамма-согласованием

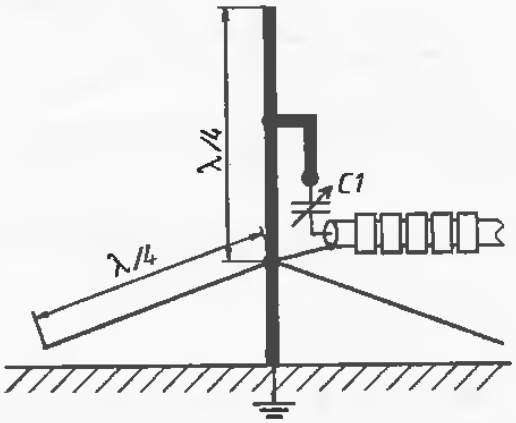


Рис. 1.4. Гамма-согласование антенны с использованием укорачивающего конденсатора

На практике обычно используют схему гамма-согласования, показанную на рис. 1.4. Схема гамма-согласования, показанная на рис. 1.4, отличается от схемы гамма-согласования, приведенной на рис. 1.3, наличием переменного конденсатора *C1*. С помощью этого конденсатора возможно практически полностью скомпенсировать индуктивную часть, вносимую во входное сопротивления антенны гамма-согласованием.

Дальнейшим развитием гамма-согласования является омега-согласование. Схема омега-согласования приведена на рис. 1.5. Омега-согласование отличается от схемы гамма-согласования наличием конденсатора *C2*. При помощи этого конденсатора удается практически полностью компенсироаать реактивную составляющую во входном сопротивлении антенны. В результате этого достижим КСВ, практически равный 1:1 для коаксиального кабеля с волновым сопротивлением как 50, так и 75 Ом. Конструктивные данные исполнения гамма и омега согласования приведены в главе 7. Следует заметить, что при помощи гамма-согласования можно произвести согласование заземленного штыря любой длины. Но я бы советовал все же следовать конструкции антенны, показанной на рис. 1.4, т. е. заземленный штырь, сверху которого отмерена длина λ/4 и подключены четвертьволновые противовесы. Как показывает опыт, такая антенна работает лучше, чем штырь случайной длины с противовесами возле земли.

При аыполнении неразрывной вертикальной антенны может оказаться, что длина заземленной мачты приближается к длине волны, для которой конструируется антенна, или даже превышает ее. Такое может оказаться при построении неразрывного вибратора для диапазонов УКВ и в некоторых случаях при построении антенны для работы на еерхних КВ диапазонах 6—12 метров. В этом случае на этой мачте будет целесообразно выполнить J-антенну. Конструкция J-антенны с заземленной мачтой показана на рис. 1.6. Для построения J-антенны используется вибратор длиной λ/2. Как известно, антенна длиной λ/2 имеет высокое входное сопротивление на своих концах. Для питания такой антенны используется согласующее устройство, выполненное на основе четвертьволнового резонатора.

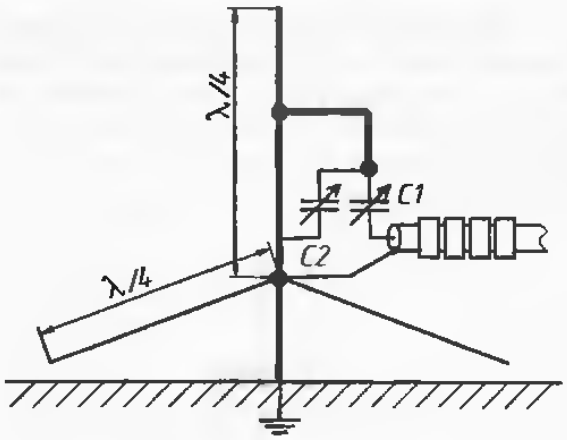


Рис. 1.5. Омега-согласование вертикальной заземленной антенны

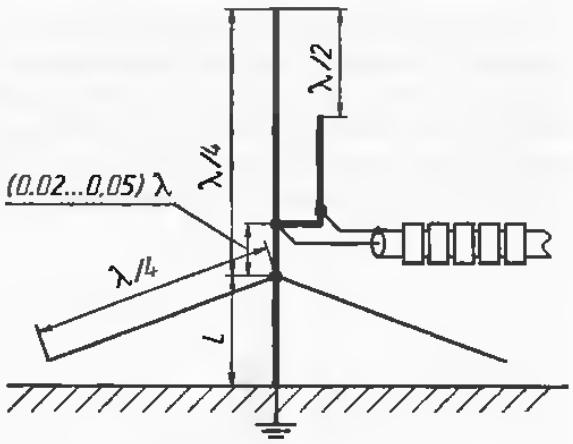


Рис. 1.6. J-антенна с использованием заземленной мачты

Расстояние *L* от точки заземления мачты до дна четвертьволнового изолятора может быть любым. Обязательно подключение не менее трех резонансных противовесов ко дну четвертьволнового резонатора. Конструкция четвертьволнового резонатора, применяемого для построения J-антенны, аналогична конструкции четвертьволнового изолятора, используемого для построения антенны, изображенной на рис. 1.1. Примерное расстояние подключения коаксиального кабеля питания к антенне показано на рис. 1.6. Настройка J-антенны заключается в подборе точек подключения коаксиального кабеля питания по минимуму КСВ в кабеле. В некоторых случаях, возможно, придется немного изменить длину четвертьволнового резонатора.

Для конкретной конструкции антенны (в зависимости от используемых в ней материалов, в зависимости от величины расстояния *L* от земли, от окружения антенны посторонними предметами) расстояние подключения коаксиального кабеля к четвертьволновому резонатору будет меняться. Но подбор этого расстояния по минимуму КСВ в коаксиальном кабеле питания обычно не представляет собой трудностей для радиолюбителя. Для конструкции J-антенны положение коаксиального кабеля в пространстве существенной роли не играет. Он может идти вдоль четвертьволнового резонатора, а затем вдоль по мачте, может располагаться под некоторым углом к заземленной металлической мачте.

Для питания J-антенны и антенн, построенных на основе металлического четвертьволнового изолятора, может быть использован коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. Поскольку излучающая часть антенны этого типа поднята над поверхностью земли (крыши) на высоту не менее чем λ/4, то следует ожидать от такой антенны излучения под пологими углами к горизонту, что благоприятно для проведения DX связей и для организации местной низовой связи.

Следует обратить серьезное внимание на то, что на конце коаксиального кабеля питания вышеописанных антенн должен быть установлен высокочастотный дроссель. Этот дроссель препятствует затеканию высокочастотных токов на внешнюю оболочку коаксиального кабеля, которая в этом случае будет служить излучающей частью антенны. Это приведет к увеличению уровня помех при работе антенны на передачу. Наиболее простая конструкция такого высокочастотного дросселя — это 10—30 ферритовых колец, туго надетых на конце коаксиального кабеля. Можно использовать ферритовые трубки, установленные на шнурах мониторов для построения высокочастотного дросселя.

Для создания антенны на основе заземленной мачты желательно использовать алюминиевые или медные трубки. Железные трубки имеют повышенные потери на высоких частотах и поэтому нежелательны для построения вертикальных заземленных антенн.

1.2. Практическое выполнение полуволновых штырей

Полуволновая вертикальная несимметричная антенна всегда привлекала внимание радиолюбителей, и на это есть свои причины. Полуволновой вертикал излучает под малыми углами в вертикальной плоскости. Это очень благоприятно для проведения DX связей. При расположении полуволновой вертиквльной антенны над хорошо проводящей поверхностью максимум его излучения будет происходить под углом, равным примерно 18°. Подъем антенны над землей на небольшую высоту, до четверти длины волны работы антенны, существенно не улучшает вид диаграммы направленности, но приводит к дроблению основного лепестка ее диаграммы направленности. Следовательно, полуволновой вертикал может быть установлен на небольшой высоте над землей.

Полуволновая вертикальная антенна имеет высокое входное сопротивление на конце. Несмотря на трудности, возникающие при согласовании высокого входного сопротивления полуволновой антенны с низким волновым сопротивлением коаксиального кабеля, все же высоков входное сопротивление является достоинством полуволновой антенны.

Полуволновая вертикальная антенна в сравнении с четвертьволновой антенной не нуждается в сложной системе противовесов, образующих искусственную землю. Для успешной работы вертикальной антенны, имеющей высокое входное сопротивление, достаточно нескольких коротких противовесов длиной менее четверти длины волны. Однако использование 2—4 полуволновых противовесов значительно снижает паразитное излучение енешней оболочки коаксиального кабеля и улучшает вид диаграммы направленности этой антенны. Иногда добавление одного-двух четвертьволновых противовесов помогает еще более понизить паразитное излучение оболочки коаксиального кабеля и, следовательно, устранить помехи телевидению и радиоэлектронной аппаратуре, возникающие при работе на передачу на полуволновую вертикальную антенну.

Но платой за высокое входное сопротивление полуволновой антенны и пониженные требования к системе заземления является усложнение питания этой антенны. Для питания вертикальной полуволновой антенны при помощи коаксиального кабеля необходимо использовать специальное согласующее устройство, установленное непосредственно около антенны. Наиболее часто в качестве такого согласующего устройства применяют параллельный контур, настроенный в резонанс на частоту работы антенны.

Схема полуволновой антенны совместно с согласующим устройством показана на рис. 1.7. Данные о длине волновой и полуволновой антенны для всех радиолюбительских коротковолновых диапазонов приведены в табл. 1.2. Данные приведены без учета коэффициента укорочения, который может находиться в пределах 0,9...0,95. Параметры согласующего контура для всех любительских КВ диапазонов приведены в табл. 1.3.

Для питания антенны может быть использован коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. При небольшом подборе количества витков катушки связи *L2* возможно достигнуть в коаксиальном кабеле КСВ, практически близкого к 1:1. Настройка согласующего антенного контура в резонанс с помощью конденсатора *C1* обязательна. Необходимо использовать высококачественный конденсатор, имеющий малые потери на высоких частотах. Этот конденсатор должен быть рассчитан на напряжение не менее 1000 В при подводимой мощности к антенне до 100 Вт. На практике можно использовать ваккумные первменные

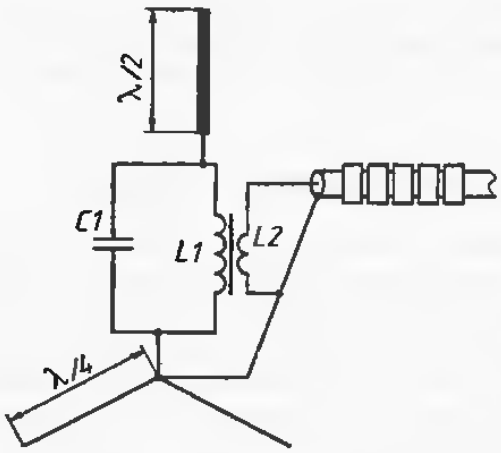


Рис. 1.7. Полуволновая вертикальная антенна

Таблица 1.2

Длина штыря антенны

Диапазон, м	Длина вибратора (λ/2), м	Длина вибратора ((λ), м
160	78,94	157,89
60	41.66	83, 33
40	21,33	42,67
30	14,8	29,61
20	10,56	21,12
17	6,26	16,53
15	7,09	14,18
12	6,01	12,02
11	5,66	11,32
10	5,21	10,41
6	2,66	5,77

Таблица 1 3

Параметры согласующего контура

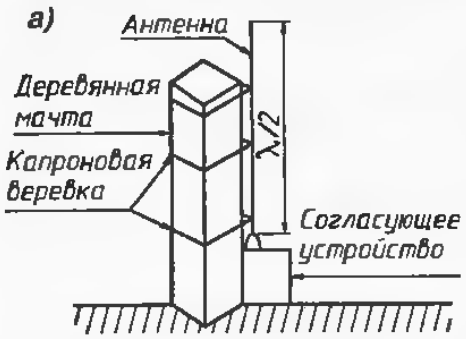
Диапазон, м	Индуктивность катушки, мкГн	Емкость контурного конденсатора, пФ	Диаметр катушки, мм	Длина намотки, мм	Диаметр провода, мм	Количество витков
160	6,8	1000	40	60	2,0	18
80	6	330	30	60	2,0	20
40	2,4	220	40	50	2,0	10
30	2,0	130	30	30	0,8	10
20	1,4	100	30	60	1,0	10
17	1,25	65	26	40	2,0	10
15	1,05	75	26	60	2,0	10
12	0,85	65	50	50	2,0	5
11	0,6	50	16	25	1,5	9
10	0,7	50	50	60	2,0	5
6	0,3	35	18	20	1,5	5

конденсаторы или связку последоватвльно включенных слюдяных или керамических конденсаторов.

Вибратор антенны для нижних КВ диапазонов 30—160 метров может быть выполнен из медного провода толщиной 1...2 мм. Для верхних любительских диапазонов 6—20 метров вибратор антенны желательно выполнить из алюминиевой или медной трубки.

Антенна, выполненная из проволоки, может быть подвешена наклонно или вертикально в зависимости от местных условий установки. Например, на крыше многоэтажного дома проволочная антенна может быть установлена на деревянной мачте (рис. 1.8,а). Если рядом с рабочим местом радиолюбителя есть высокое дерево, антенна может быть подвешена на нем (рис. 1.8,б). В условиях города антенна может быть размещена между двумя многоэтажными домами (рис. 1.8,в). Следует обратить внимание, что при размещении антенны между домами, или в непосредственной близости от дерева, или на деревянной мачте часть излучаемой антенной энергии будет теряться в окружающих антенну предметах. Также произойдет изме-

нение диаграммы направленности антенны, вероятнее всего в худшую сторону. При поглощении высокочастотной энергии близлежащими предметами в диаграмме направленности могут образоваться небольшие провалы. При отражении высокочастотной энергии близкорасположенными предметами в диаграмме направленности антенны появятся нежелательные боковые лепестки. Однако в условиях города такая суррогатная установка антенны может оказаться адинственно возможной.



При выполнении полуволновой антенны для работы на любительских диапазонах 80 и 160 метров длина излучателя антенны получается физичвски больших размеров. В этом случае антенна может быть размещена в пространстве наклонно или в согнутом положении. Известно, что в формирование диаграммы направленности оснoаную роль вносят те части антенны, по которым протекают наибольшие высокочастотные токи. В вертикальной полуволновой антенне наибольшие токи протекают в серединной части антенны, как показано на рис. 1.9.

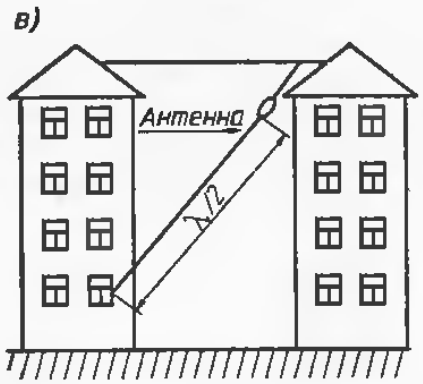


Рис. 1.8. Расположение вертикальной проволочной антенны

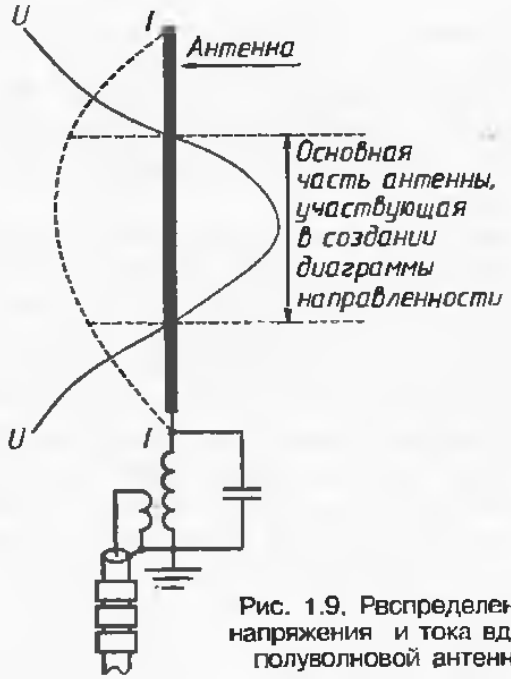


Рис. 1.9. Рвспределение напряжения и тока вдоль полуволновой антенны

Для того, чтобы избежать существенного ухудшения диаграммы направленности согнутой полуволновой антенны, необходимо по возможности размещеть серадинную часть антенны, участвующую в создании диаграммы направленности антенны, вертикально относительно поверхности земли. Концы антенны, вносящие несущественный вклад в излучение антенны, можно размещать горизонтально относительно земли. Размещение согнутой полуволновой антенны в ограниченном пространстве показано на рис. 1.10. Для оттяжек концов антенны можно использовать капроновую веревку без использования каких-либо добавочных изоляторов. Согнутую полуволновую антенну можно использовать для работы в полевых условиях. В этом случае для ее установки можно использовать близкорасположенные деревья или заранее приготовленные складные мачты.

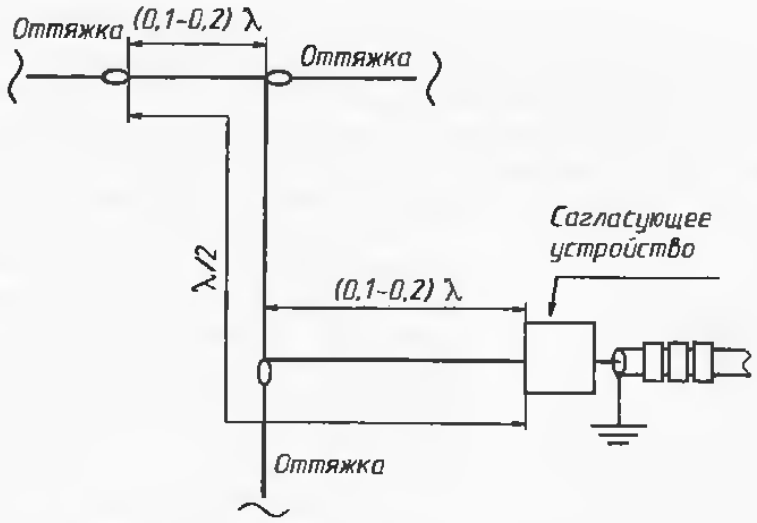


Рис. 1.10. Размещение согнутой полуволновой антенны в ограниченном пространстве

В любой конструкции антенны самым ее ненадежным участком является место соединения различных частей антенны. Любое электрическое соединение, которое по силам выполнить радиолюбителю, — пайка, соединение с помощью хомутов, клепаные соединения, со временем ухудшается. В результате увеличивается переходное сопротивление этого соединения и ухудшается эффективность работы антенны. Поэтому всегда желательно выполнять антенну из неразрывного материала.

При выполнении проволочных полуволновых антенн вполне возможно из того же провода, из которого выполнен вибратор антенны, выполнить катушку параллельно контуру, питающего антенну, как показано на рис. 1.11,а. При выполнении антенны из трубок катушку индуктивности также целесообразно выполнить из этих же трубок (рис. 1.11,б). При достаточной толщине трубок, используемых в конструкции неразрывной антенны, она может быть выполнена как единая механическая конструкция. Следует обратить внимание на то, что многие коммерческие полуволновые антенны созданы по этому принципу. Выполненная таким образом антенна будет оставаться работоспособной в течение многих лет. Использование неразрывной антенны имеет своим преимуществом еще и то, что нет необходимости в использовании высококачественного опорного изолятора в основании антенны.

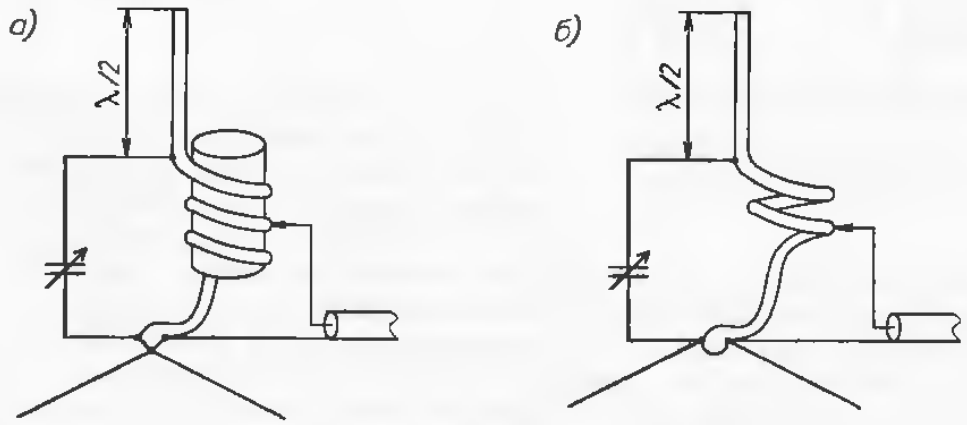


Рис. 1.11. Неразрывная полуволновая антенна

Питающий антенну параллельный контур, выполненный из провода, должен быть защищен от воздействия атмосферных условий. Простейший способ — помещение его в пластиковую бутылку от прохладительных напитков. После этого бутылка герметизируется любым известным способом. Однако при построении полуволновой вертикальной антенны из целой толстой жесткой трубки нет необходимости в защите катушки от атмосферных воздействий. Необходима только защита контурного конденсатора от атмосферных воздействий, что много проще, чем полная защита всего контура.

Наиболее легко выполняется и наиболее просто рассчитывается одновитковая катушка в основании полуволновой антенны. Вид одновиткового контура показан на рис. 1.12. Такую одновитковую катушку наиболее рационально использовать для работы в любительских диапазонах 6—20 метров.

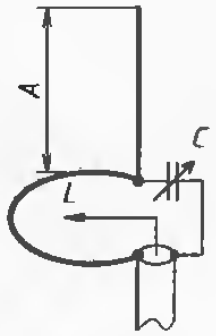


Рис. 1.12. Полуволновая антенна с одновитковой катушкой

В табл. 1.4 приведены размеры антенны и параметры согласующего контура для полуволновой антенны, показанной на рис. 1.12. Данные указаны для любительских диапазонов 6—20 метров. Для определения индуктивности петли в зависимости от толщины штыря антенны или провода, ив которого она выполнена, можно воспользоваться графиками, приведенными на рис. 1.13.

Таблица 1.4

Параметры одновиткового контура и длина полуволновой антенн для диапазонов 6—20 метров

Диапазон, м	Длина А, м	Емкость контурного конденсатора C, пФ	Индуктивность контурной катушки L, мкГн
20	10,1	100	1,4
17	7,8	85	1,25
15	6,7	75	1,05
12	5,7	65	0,85
11	5,5	50	0,8
10	5,2	50	0,7
6	2,82	35	0,3

В некоторых случаях целесообразно использовать не одновитковую петлю в качестве катушки согласующего контура, а использовать несколько витков вибратора антенны в качестве такой катушки. Это может быть в том случае, когда жесткости одного большого витка будет недостаточно для построения механически прочной конструкции антенны. При выполнении неразрывной полуволновой антенны из трубок для диапазонов 20—30 метров может быть окажется целесообразно выполнение многовитковой согласующей катушки на высококачественном каркасе. Для расчета величины индуктивности многовитковой катушки можно воспользоваться общеизвестными формулами. Также можно воспользоваться графиком, приведенным на рис. 1.13 и предназначенным для определения индуктивности одного витка катушки. Найдя индуктивность одного витка и умножив ее на общее количество витков в катушке, можно приблизительно определить индуктивность многовиткоаой катушки. Такой способ расчета индуктивности согласующей катушки неразрывной полуволновой антенны дает достаточную для практики точность.

Настройка полуволновой антенны с резонансным контуром, петлей в основании, несложна. Первоначально центральную жилу кабеля с припаянным к ней жестким «крокодилом» присоединяют к четверти длины петли или к третьей части витков, если используется многовитковая катушка. При помощи переменного конденсатора настраивают контур в резонанс. Резонанс легко определяется или по максимуму высокочастотного напряжения на контуре, или по минимуму КСВ в фидере. Далее, передвигая «крокодил» в ту или иную сторону и все время подстраивая соответственно при этом контурный конденсатор, добиваются дальнейшего уменьшения

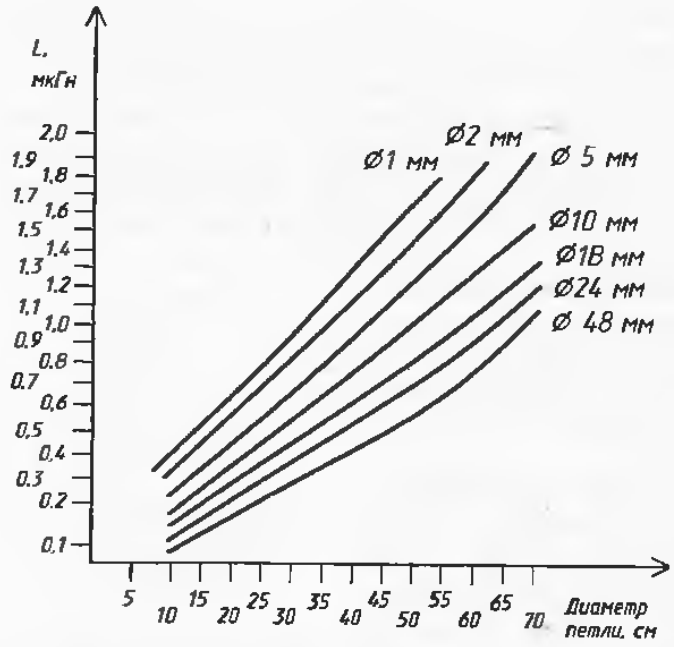


Рис. 1.13. Индуктивность одновитковой петли в зависимости от ее диаметра и толщины образующего ее проводника

КСВ, или, что то же самое, максимума высокочастотного напряжения на согласующем контуре. Точные размеры согласующего участка петли или количество витков параллельного контура и емкостного конденсатора настройки подбирают практически. На оптимальное согласование антенны влияет множество факторов: диаметр трубок и материал, из которого выполнен вибратор антенны, наличие противовесов, их количество и их длина, наличие около антенны посторонних предметов, проводимость почвы, над которой установлена антенна, и т. д.

После полной настройки в резонанс контура полуволновой антенны контурный конденсатор защищают от влаги. Соединение коаксиального кабеля с петлей или катушкой, выполненной из провода антенны, можно осуществить с помощью пайки, если антенна выполнена из меди. В том случае, если антенна выполнена из алюминия или по каким-то причинам для медной антенны осуществить пайку сложно, центральную жилу кабеля присоединяют к полотну антенны с помощью хомута, винтового соединения. Раскрытый конец коаксиального кабеля также необходимо защитить от попадания туда влаги каким-либо известным способом.

Высокие вертикальные антенны подвержены ударам молнии. Также являются они хорошими разрядниками для атмосферного электричества. Поэтому необходимо принять меры по защите аппаратуры, подключенной к такой антенне, от атмосферного электричества.

Наиболее простой способ защиты антенны от атмосферного электричества состоит в заземлении «холодного» конца катушки согласующего устройства на металлическую мачту (рис. 1.14), на которую эта антенна установлена. Если антенна установлена на диэлектрической мачте, то дно антенны необходимо заземлить толстым куском провода на электротехническую землю, если эта земля находится в непосредственной близости от антенны, на расстоянии 1—2 м. Если же электротехническая земля находится на значительном удалении от антенны, то соединение с ней необходимо выполнить через два резистора сопротивлением 10000...20000 Ом и мощностью 5...10 Вт, причем один резистор должен быть расположен непосредственно около антенны, а другой резистор — непосредственно около электротехнического заземления, как показано на рис. 1.15.

Соединение антенны с электротехнической землей через два высокоомных резистора целесообразно выполнить по следующим причинам.

Во-первых, через провод, идущий от антенны к электротехнической земле, на трансивер могут поступать радиопомехи как искусственного, так и естественного происхождения, существующие в системе электротехнического заземления антенны.

Во-вторых, во время передачи паразитное излучение системы электротехнического заземления может вызвать существенные радиопомехи близкорасположенной радиоаппаратуре. При ограничении тока через систему заземления уровень этих помех существенно понизится.

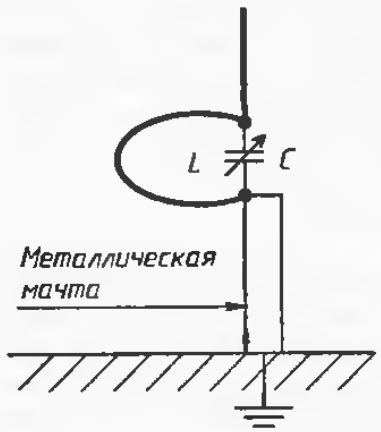


Рис. 1.14. Непосредственное заземление полуволновой антенны

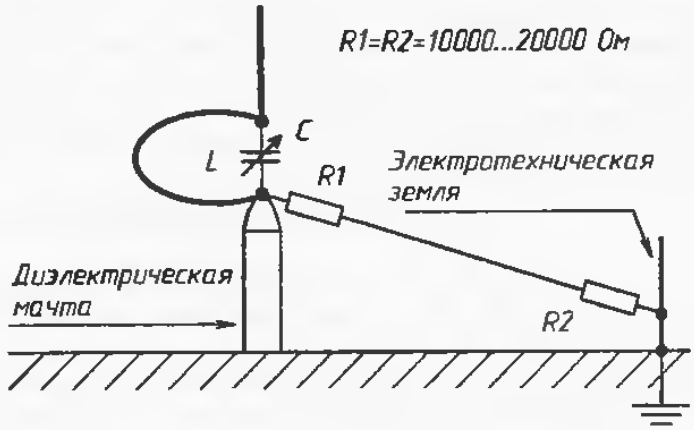


Рис. 1.15. Заземление полуволновой вертикальной антенны, удаленной от электротехнической земли

В-третьих, желательно ограничение тока статического электричества и атмосферных разрядов, протекающего через согласующий антенну контур. Поскольку ток статических и атмосферных разрядов протекает через резонансный контур, расположенный в основании антенны, то контур может излучать затухающие колебания вследствие его ударного возбуждения. Это может привести к созданию помех в широком диапазоне частот. Помехи будут как любительским станциям, так и радиовещательному приему. При использовании токоограничивающего резистора уровень таких помех будет мизерным.

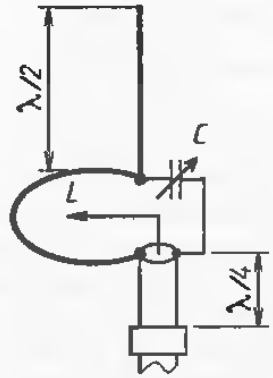


Рис. 1.16. Установка полуволновой антенны без противовесов

Для нормальной работы полуволновой антенны необходимо использовать совместно с ней 2—3 четвертьволновых противовеса, подключенных ко дну согласующего контура.

На конце коаксиального кабеля питания вышеописанных полуволновых антенн должен быть установлен высокочастотный дроссель. Его конструкция может быть аналогичной конструкции дросселя, описанив которой приведено в параграфе «Нерезрывный вибратор». Без использования высокочастотного дросселя уровень радиопомех, производимый полуволновой антенной, будет высоким.

Если по каким-либо причинам в полуволновой антенне трудно установить противовесы, их может заменить оплетка коаксиального кабеля, используемого для питания антенны. В этом случае высокочастотный дроссель устанавливается на расстоянии, равном примерно четверть длины волны от согласующего устройства антенны, как показано на рис. 1.16. Следует заметить, что использованив оплетки коаксиального кабеля в качестве противовесов не является их равноценной заменой. По внешней оплетке коаксиального кабеля в этом случае будут протекать значительные высокочастотные токи, подавить которые только один дроссель, установленный на расстоянии четверти длины волны от согласующего устройства антенны, скорее всего не сможет. Для дальнейшего

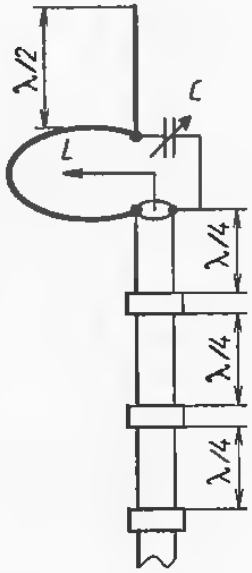


Рис. 1.17. Установка полуволновой антенны с добавочными дросселями

подавления высокочастотных токов, распространяющихся по внешней оболочке коаксиального кабеля, необходимо установить на ней несколько высокочастотных дросселей, как показано на рис. 1.17. Они могут быть установлены на расстоянии, равном четверти длины волны друг от друга. Однако если есть возможность установить их чаще, то эту возможность необходимо использовать.

1.3. Коллинеарные антенны

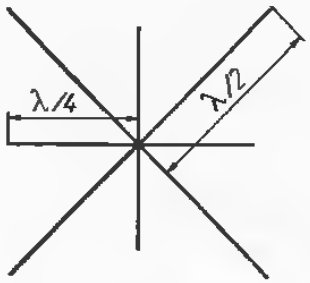


Рис. 1.18. Земля коллинеарной синфазной антенны

Если есть возможность установить вертикальную антенну высотой более чем λ/2, то можно использовать коллинеарную синфазную вертикальную антенну. В классической коллинеарной синфазной вертикальной антенне диаграмма направленности формируется путем сложения полей излучения от полуволновых вибраторов, которые питаются со сдвигом фаз, равным 180°, т. е. питаемых синфазно. Синфазные коллинеарные антенны выигрывают в работе перед такими же по высоте вертикальными антеннами. Благодаря сложению полей излучения от разных вибраторов, синфазная вертикальная коллинеарная антенна имеет прижатое к горизонту излучение и очень небольшое зенитное излучение. В формировании диаграммы направленности вертикальной коллинеарной синфазной антенны большую роль играет качество земли под ней. Поэтому такую антенну для диапазона коротких волн необходимо устанавливать только над хорошо проводящей землей. Если качество земли плохое, под антенной необходимо установить хорошую систему заземления. Эта система заземления должна содержать не менее четырех полуволновых и не менее четырех четвертьволновых противовесов, диагонально расположенных относительно друг друга, как показано на рис. 1.18. Хороший вариант заземления под коллинеарной антенной заключается в использовании металлической сетки.

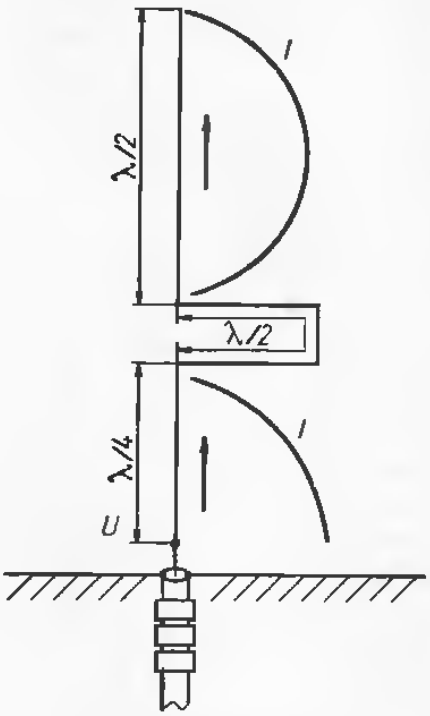


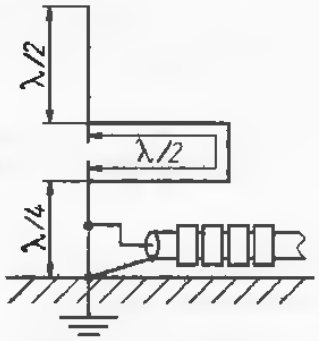
Рис. 1.19. Простейшая двухэлементная коллинеарная антенна

Для коммерческих вертикальных антенн коротких волн используют металлизацию под антеннами. Для телерадиовещания и служебной связи на УКВ тоже используют коллинеарные синфазные антенны. Иногда такие коллинеарные антенны содержат более десяти вибраторов. На УКВ используют только симметричные коллинеарные антенны. Обычно эти симметричные вертикальные антенны подняты высоко над поверхностью земли.

В радиолюбительских условиях трудно выполнить антенную систему, содержащую столь большое количество вибраторов. Из-за своих относительно больших физических размеров вертикальные коллинеарные антенны радиолюбители используют в основном на верхних КВ диапазонах 6—15 метров. Поэтому рассмотрим конструкцию простейшей суррогатной двухэлементной коллинеарной антенны, состоящей из четвертьволнового и полуволнового вибратора. Схема этой антенны показана на рис. 1.19. Высота этой простой радиолюбительской коллинеарной полуволновой антенны составляет 3λ/4. По сравнению с обыкновенной вертикальной антенной, имеющей высоту 3λ/4, коллинеарная антенна имеет более прижатую к горизонту диаграмму направленности.

Такое построение коллинварной антенны вполнв оправдано в радиолюбительских условиях. Радиолюбителями хорошо разработаны методы питания четвертьволновых антенн при помощи коаксиального кабвля. На конце четвертьволнового вибратора будет максимум высокочастотного напряжения, который как раз и необходим для питания верхнвго полуволнового вибратора, имеющего высоков входнов сопротивление. Через шлейф электрической длиной, равной λ/2, зто высокочастотное напряжение питает полуволновой вибратор. Рвспределение высокочастотного тока вдоль коллинеарной антенны и его условное направление показано на рис. 1.19. Токи в верхнем и нижнем вибраторе антенны синфазны.

Для питвния коллинеарной антенны целесообрвзно использовать гамма(или омвга)-согласоввние, как показано на рис. 1.20. Методика расчетв гамма-согласования приведена в глвве 7 настоящей книги. Гамма-согласоввнив в питании коллинеарной внтенны имеет ряд преимуществ. Во-первых, нижний вибратор, питающий верхний полуволновой вибратор, заземлен. Это значительно упрощает конструкцию антенны и практически исключает поражение оператора и аппаратуры, подключенной к антенне, атмосферным электричеством. Во-вторых, с помощью гамма-согласования можно произаести успешное согласование антенны с коаксиальным кабвлем с волновым сопротивлением как 50, так и 75 Ом. Для успешной работы эта антенна должна располагаться либо над хорошо проводящей поверхностью, либо иметь систему заземления, показанную на рис. 1.18.



Рио. 1.20. Питание коллинеарной антенны с помощью гамма-согласования

Таблица 1.5

Данные для выполнения коллинеарной синфазной антенны для диапазонов 2—15 метров

Частота, МГц	Длина λ/4, м	Длина λ/2, м	Длина (λ/4) × 0,82, м
21,2	3,53	7,07	2,9
24,9	3	6	2,47
27,0	2,77	5,55	2,27
28,8	2,6	5,2	2,13
52	1,44	2,88	1,18
145	0,5	1,0	0,42

Для выполнения фазосдвигающей линии можно использовать ленточный кабель типа КАТВ или даже телвфонный провод ТРП. Коэффициент укорочвния этих линий передач составляет обычно 0,82. Коэффициент укорочения даухпроводной линии может быть определвн самостоятельно в радиолюбительских условиях, используя методики, изложенные в литературе [1]. Фазосдвигающая линия, выполнвнная из ленточного кабвля, может быть или нв туго свернута вокруг разделяющего части коллинеарной антенны изолятора, или растянута в пространствв с помощью веревки. Желательна простейшая защита фазосдвигающей линии с пластиковой изоляцией от воздействия атмосферных воздействий, например для зтого можно поместить линию в пластиковую бутылку. В табл. 1.5 приведены данные для выполнения коллинеарной синфазной антенны, для любительских диапвзонов 2—15 м. Размвры вибрвторов приведаны без учета коэфффициента укорочения, который может составлять 0,9...0,95. В этой таблице приведаны длины фазосдвигающей линии с коэффициентом укорочвния, равным 0,82.

Коллинеарная синфазная антенна для диапвзонов 2—15 м имвет относительно небольшие размеры и, следовательно, может быть выполнена неразрывной. Для изготовлвния вибратора антенны может быть использована медная трубка наружным диаметром 4—20 мм или алюминиевый провод от силового электрического кабеля такого же диаметра. Шлейф антенны в этом случае может быть свит в круг (рис. 1.21).

Синфазная коллинеарная антенна при расположении над хорошо проводящей землей и при использовании для ее питания открытой двухпроводной линии, как

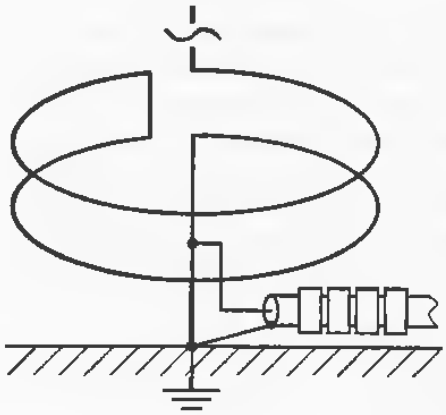


Рис. 1.21. Простая коллинеарная неразрывная антенна

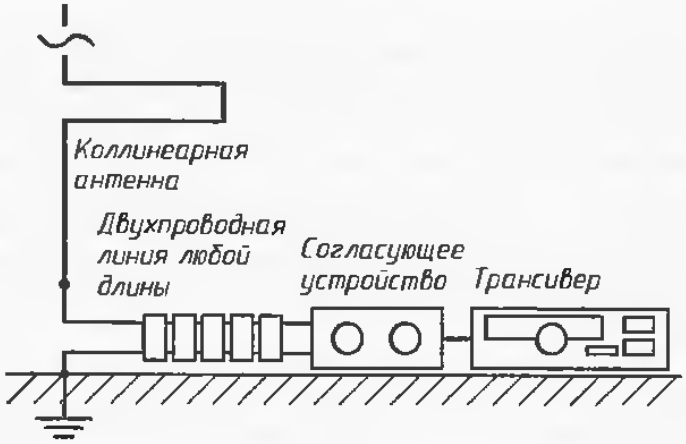


Рис. 1.22. Питание коллинеарной антенны по двухпроводной линии

показано на рис. 1.22, может быть использована для работы на нескольких любительских диапазонах.

Но, конечно, такой вариант использования коллинеарной антенны можно считать лишь вспомогательным. Оптимальная ее настройка в резонанс, а следоввтельно, и обеспечение прижатой диаграммы направленности, возможна только на одном дивпазоне. На остальных диапазонах эта антенна будет работать как обычная вертикальная антенна. Общея физическая длина вибрвтора коллинеарной антенны состоит из суммы длин нижней, верхней части и фазосдвигающего устройства, и эта длина представляет собой относительно большую ввличину. Вследствие этого антенна будет неплохо работать на других любительских диапазонах, причем как на верхних, так и на нижних относительно резонансной частоты антенны. Более того, общая длина коллинеарной антенны близка к резонансной длине для некоторых сосадних любительских диапазонов. Это еще более повышает эффективность работы этой антенны на них. При использовании этой антенны между двухпроводной линией и трансивером необходимо включать согласующее устройство.

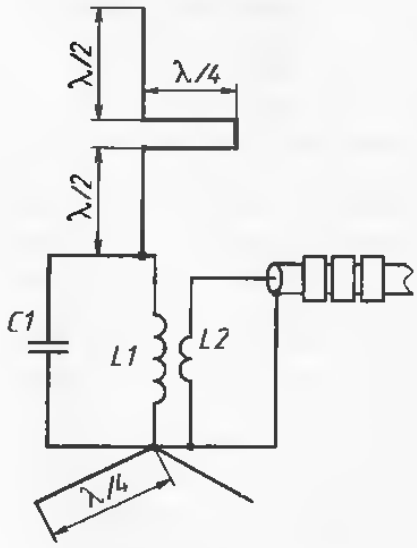


Рис. 1.23. Коллинеарная синфазная антенна с полуволновыми вибраторами

Конечно, лучший вариант выполнения коллинварной синфазной антенны с вибраторами, имеющими длину λ/2. Схема такой антвнны показана на рис. 1.23. На этом же рисунке показан вариант питания антенны при помощи пвраллельного контура. Вполне возможно использовать для питания антенны четвертьволновый резонвтор. Поскольку коллинеарная антенна с полуволновыми вибраторами имеет большие размеры, ее целесообразно использовать для работы на диапазонах 2—12 метров. Эта антенна менее критична к качеству земли. Четырех противовесов длиной λ/4, подключенных к оплетке коаксиального кабеля, вполне достаточно для ее успешной рвботы. Нижний конец внтенны должен располагаться над поаерхностью земли на высоте не менее чем 0,1 λ.

Следует обратить серьезное внимание на то, что на конце коаксиального кабеля питания описанных в этом параграфе коллинеарных антенн должен быть уствновлен высокочастотный дроссель. Его конструкция может быть аналогичной конструкции

высокочастотного дросселя на основе ферритовых колец, описание которой приведено в параграфе «Неразрывный вибратор».

1.4. Укороченные витые антенны

При недостатке места для установки полноценной вертикальной антенны можно установить укороченную витую вертикальную антенну. Витая антенна занимает мало мвста. Эту антенну можно установить на балконе, в проеме окна, на чердаке или на крыше при недостатке места для установки полноразмерной антенны. Укороченные витые вертикальные антенны не могут эффектиано использоввться для проведения дельних связей, но они вполне могут работать как суррогатные антенны. В этом парвграфе мы разберем особенности изготовления и установки вертикальных витых антенн.

Для изготовления укороченной витой антенны провод длиной не менее чем четвврть длины волны равномерно наматывают на каркас из изоляционного материала. Для конструкции антенны обычно используют провод дивметром 1...3 мм и дизлектрический каркас диаметром 10...50 мм. Вследствие своих малых размеров витыв антенны обледают большой добротностью и, следовательно, имвют небольшую полосу пропускания. Для снижения добротности антенны и, сладовательно, для расширения ее полосы пропускания в конструкции витой антенны обычно используют емкостную нагрузку. Такая нагрузка конструктивно выполняется в виде 4—6 проводников длиной от 40 до 100 см, расположенных на вершине антенны. Схема клвссической витой укороченной вертикальной антенны показана на рис. 1.24.

Для нормальной работы этой антенны необходима хорошая радиотехническая земля. В крайнем случае можно использовать не менее двух противовесов длиной четверть длины волны. Противовесы могут быть растянуты в пространстве, или, что несколько хуже, свернуты в круг, или расположены в виде букв Г, П.

Классическая настройка витой антенны заключается в постепенном укорочении ее длины до необходимой резонансной. Резонанс витой антенны определяется при помощи высокочастотного моста. Как показывает практика, при использовании для изготовления укороченной витой антенны провода длиной, точно равной четверти длины волны, ее резонансная частота получвется немного ниже, чем для развернутой в пространстве внтенны длиной четверть волны. Это происходит всладствие того, что витки антенны имеют некоторую собственную емкость, которая и производит понижение резонансной частоты антенны. Конечно, настройка витой антенны укорочением ее длины не всегда удобнв. Легче и технологичнее настрвивать такую антенну с помощью укорачивающего переменного конденсатора, как показвно на рис. 1.25.

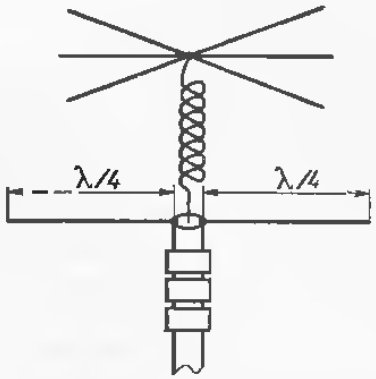


Рис. 1.24. Укороченная витая вертикальная антенна

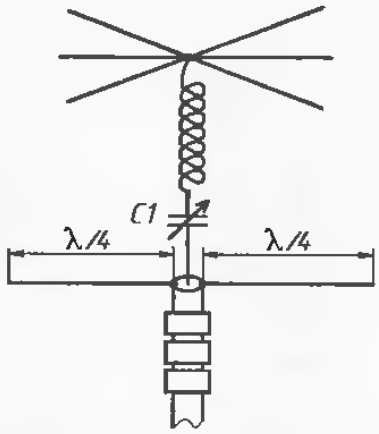


Рис. 1.25. Витая антенна с настройкой укорачивающим конденсатором

Если предполагается настраивать витую антенну с помощью укорачивающего конденсатора, длину составляющего ее проводника необходимо выбрать на несколько процентов больше, чем необходимые четверть длины волны. Использование для построения витой антенны укорачивающего конденсатора проводника длиной больше λ/4 позволяет увеличивать ее активное входное сопротивление. Давайте разберем, почему так важно всеми способами увеличивать входное сопротивление вертикальной витой антенны.

Активное входное сопротивление резонансной четвертьволновой витой антенны очень низкое. Ориентировочно можно считать, что теоретическое входное сопротивление витой антенны примерно в 3...5 раз выше, чем такой же по высоте невитой антенны. Входное сопротивление укороченной витой антенны зависит от диаметра ее каркаса, от диаметра провода, из которого выполнена антенна, от способа ее намотки. На графиках, приведенных в главе 15 настоящей книги, показано входное сопротивление короткой вертикальной антенны разной длины для всех любительских коротковолновых диапазонов. Из этих графиков следует, что теоретическое входное сопротивление укороченной витой антенны будет иметь небольшую величину. Низкое входное сопротивление антенны трудно согласовать с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 или тем более 75 Ом без использования специальных согласующих устройств между антенной и коаксиальным кабелем. Использование антенны электрической длиной большей, чем четверть длины волны позволяет немного повысить входное сопротивление витой укороченной антенны и облегчить ее согласование.

Как известно, принцип согласования классического, развернутого в пространстве, вертикала длиной большей, чем четверть длины волны при помощи последовательно включенного переменного конденсатора заключается в следующем. При увеличении длины вертикальной антенны более, чем λ/4 в комплексном входном сопротивлении антенны увеличивается его активная составляющая. Это дает возможность согласовать антенну с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением как 50, так и 75 Ом. Укорачивающий конденсатор компенсирует «ненужную» индуктивную часть входного импеданса антенны. Напомним, что входное сопротивление вертикальной несимметричной антенны высотой λ/4, расположенной над идеальной поверхностью, составляет 36 Ом.

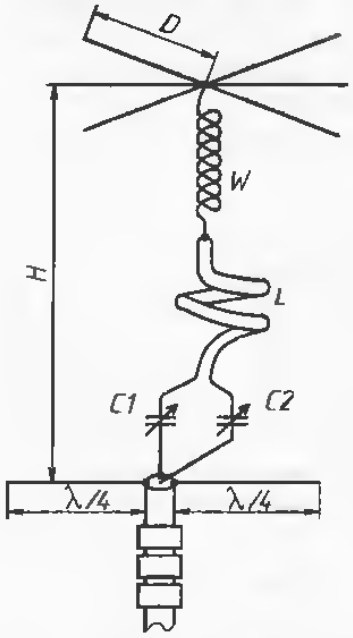


Рис. 1.26. Гамма-согласование вертикальной укороченной витой антенны

На этом же принципе основано согласование короткой вертикальной витой антенны, имеющей длину составляющего ее провода большую, чем λ/4. Конечно, входное сопротивление электрически длиной витой антенны при помощи укорачивающего конденсатора невозможно привести к волновому сопротивлению коаксиального кабеля 50 или 75 Ом. Но даже небольшое увеличение ее входного сопротивления повысит эффективность согласования этой антенны с коаксиальным кабелем.

Однако при измерении входного сопротивления реальной витой укороченной антенны это сопротивление часто оказывается значительно выше его теоретической величины. Это происходит вследствие наличия потерь в системе заземления, в предметах, расположенных в непосредственной близости от витой антенны, в проводе, из которого выполнена антенна, в укорачивающем конденсаторе. Чем сильнее отличается реальное входное сопротивление витой антенны от теоретического значения, тем ниже эффективность антенны, тем выше величина вышеуказанных потерь в этой антенне. Но в то же время тем

легче согласовать эту антенну с коаксиальным кабелем, тем больше ее полоса пропускания.

Хорошего согласования витой укороченной антенны с коаксиальным кабелем можно добиться при помощи гамма-согласования. Для укороченных витых антенн можно использовать упрощенную схему такого согласования. На рис. 1.26 показана схема укороченной витой антенны с использованием упрощенного гамма-согласования. Разберем работу этой схемы.

Нижняя часть укороченной витой антенны выполнена из малогабаритной двухпроводной линии в пластиковой изоляции с волновым сопротивлением 350 Ом и длиной *G*, равной 0,05λ. В качестве такой двухпроводной линии мной был использован телефонный двухпроводный кабель ТРП, который известен среди радиолюбителей под названием «лапша». На одном конце жилы кабеля спаяны и присоединены к проводу, составляющему полотно антенны и имеющего длину 0,2λ. При помощи конденсатора *C1* укороченная витая антенна настраивается в резонанс на свою рабочую частоту. При помощи конденсатора *C2* производится согласование антенны с коаксиальным кабелем питания.

Сразу необходимо отметить следующие моменты. В случае применения гамма-согласования использование конденсатора *C1* и, следовательно, настройка витой укороченной антенны в резонанс не обязательны. Но при помощи этого конденсатора *C1* удается произвести более тщательную настройку антенны. Если высота вертикальной витой антенны составляет менее 0,1λ, то целесообразно длину *L* взять более 0,05λ. Эта длина может находиться в пределах (0,05...0,1)λ. При этом общая длина проводника, составляющего укороченную вертикальную витую антенну, должна находиться в пределах 0,25 λ.

При гамма-согласовании тока сопротивление антенны может составлять не 50 Ом, а скорее всего 30...40 Ом, что уже будет достаточно. Подробнее о гамма-согласовании см. в главе 7.

Двухпроводная линия, служащая гамма-согласованием, наматывается на пластиковый каркас антенны в нижней ее части. Данные для выполнения укороченных витых антенн для любительских диапазонов 6—160 м, использующих гамма-согласование приведены в табл. 1.6. В этой же таблице приведено ориентировочное усиление укороченной витой антенны, имеющей приведенную в табл. 1.6 высоту. Условные обозначения длин частей антенны совпадает с условным обозначением на рис. 1.26. Усиление дано относительно несимметричного четвертьволнового вертикального вибратора, находящегося над идеальной землей. Правда, как видно из табл. 1.6, усиление этих антенн по сравнению с четвертьволновой вертикальной несимметричной антенной отрицательное. Правильнее было бы говорить об ослаблении, которое вносят эти антенны при их использовании. Если учесть, что обычно укороченные витые антенны размещают среди близкорасположенных посторонних предметов и используют для этих антенн суррогатную землю, то усиление реальной укороченной витой антенны будет еще ниже.

Конечно, приведенные в табл. 1.6 значения высоты антенны и размеры ее емкостной нагрузки не являются обязательными. При увеличении высоты укороченной витой антенны, происходит увеличение эффективности ее работы, расширяется полоса пропускания антенны. При увеличении размеров емкостной нагрузки возрастает полоса пропускания антенны и немного увеличивается эффективность ее работы. В любом случае желательно использовать для выполнения укороченной витой антенны мачту наибольшей возможной высоты и применять емкостную нагрузку наибольшей длины.

Для практического выполнения антенны можно использовать гибкий медный многожильный провод диаметром 1...3 мм, используемый для прокладки электричества. Такой провод стоит недорого и широкодоступен. Очень удобно использовать в качестве каркаса для изготовления витой вертикальной антенны пластиковую трубку диаметром от 10 до 50 мм. Такие пластиковые трубы ис-

Таблица 1.6

Данные для выполнения укороченных витых антенн для любительских диапазонов 6—160 метров

Диапазон, м	Максимальная емкость *C1*, пФ	*C2*, пФ	*L*, м	*W*, м	*H*, м	*D*, м	Полоса пропускания антенны, МГц	Потери по отношению к вертикалу высотой λ/4, dB
160	250	500	7,7	30,7	5	2	0,06	-22
60	250	250	4,16	16,6	3,5	1,2	0,1	-18
40	200	200	2,12	6,51	2	0,8	0,1	-15
30	150	200	1,48	5,94	1,6	0,6	0,2	-11
20	150	150	1,05	4,22	1,5	0,6	0,3	-9
17	100	100	0,83	3,32	1,3	0,5	0,4	-9
15	100	100	0.7	2.83	1.2	0.5	0,5	-8
12	100	100	0,61	2,44	1	0,4	0,6	-6
11	100	100	0,55	2,22	1	0,3	0,8	-5
10	100	100	0,52	2,1	1	0,3	0,8	-5
6	50	50	0,29	1,176	0,8	0,3	1,5	-3

пользуются для водопровода. Иногда для изготовления вертикальной витой антенны удобно использовать гибкий шланг для подачи воды. Антенна, изготовленная нв гибком шланге, может быть использована как для стационарной, так и для полевой работы. При использовании ее для полввой работы антенна может быть растянута в пространстве с помощью верввки между деравьями. Антенну, выполненную на основе гибкого шланга, легко перевозить при смене мвста радиоэкспедиции.

Следует обратить внимание на то, что на конце коаксиального кабеля питания укороченных витых антенн, описанных в этом параграфе должен быть установлен высокочастотный дроссель. Его конструкция может быть аналогичной конструкции дросселя, описвние которой приведено в параграфе этой главы «Неразрывный вибрвтор».

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт, 2002. — 272 с. — ISBN 5-93037-087-7.

2. МНОГОДИАПАЗОННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ

Дефицит свободного пространствв в городе для размещения антенны и увеличение числв радиолюбительских дивпвзонов приводит к увеличению популярности многодиапазонных вертикальных антенн.

Многодиапазонныв вертикальные антенны нв занимают много места для своеи установки. При помощи этих антенн возможна организация радиолюбительской связи в городских условиях.

Ниже рассмотрены способы построения и реальные конструкции многодиапазонных вертикальных штыравых антенн диапазона коротких волн. Все антвнны просты в наладке и обеспечивают высокие парамвтры при работе в эфире.

2.1. Трехдиапазонная вертикальная антенна

При недостатке места на крыше дома для установки отдельной вертикальной антенны на каждый верхний любительский КВ диапазон можно использовать комбинированную трехдиапазонную антенну. Схема такой антенны показана на рис. 2.1.

Три четвертьволновых вибратора подключаются параллельно к центральной жиле коаксиального кабеля. К оплетке коаксиального кабеля подключаются не менее двух четвертьволновых противовесов для каждого диапазона работы антенны. В табл. 2.1 приведено сочетание диапазонов, на которых параллельно включенные вибраторы антенны оказывают минимальное влияние друг на друга. Использование более трех вибраторов для выполнения многодиапазонной вертикальной антенны нецелесообразно. Емкостная составляющая импеданса многодиапазонной вертикальной антенны будет сравнима с активной частью ее входного сопротивления на верхних диапазонах работы антенны, в результате чего эффективность работы антенны на них значительно падает.

Таблица 2.1

Сочетание диапазонов работы комбинированной трехдиапазонной антенны

Длина волн, м		
6	10	15
10	15	20
12	17	30
15	20	40
15	17	20
20	30	40
30	40	60
40	80	160

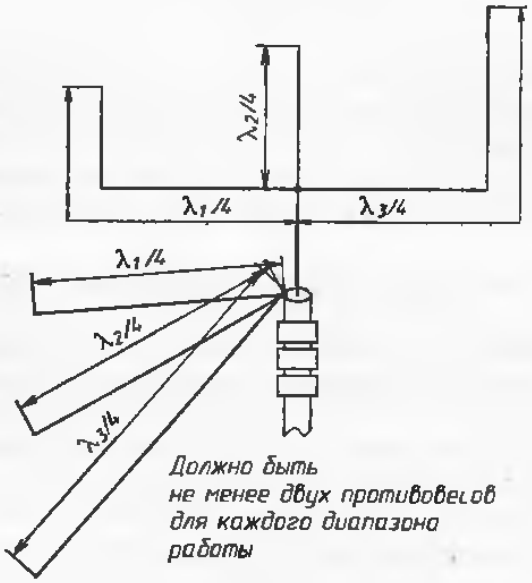


Рис. 2.1. Комбинированная трехдиапазонная антенна

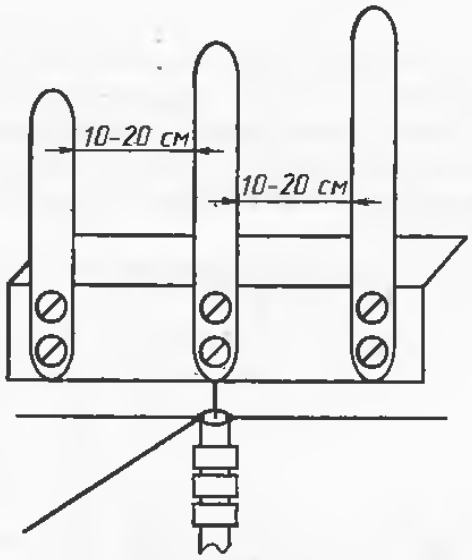


Рис. 2.2. Расположение вибраторов антенны на металлическом уголке

Конструкция этой многодиапазонной антенны зависит только от реальных возможностей радиолюбителя. Вибраторы антенны могут быть жестко прикручены к металлическому уголку, как показано на рис. 2.2. Если упругость вибраторов не позволяет достигнуть жесткости конструкции антенны, расстояние между вибраторами антенны относительно друг друга может быть зафиксировано при помощи пластиковых изоляторов, как показано на рис. 2.3. Наоборот, достаточно жесткие вибраторы антенны могут располагаться веером (рис. 2.4). Штыри для работы на высокочастотных диапазонах могут быть выполнены из медных или дюралевых трубок, могут быть растянуты из толстого медного провода. На конце коаксиального кабеля питания желательна установка высокочастотного дросселя, как это было описано в главе 1 настоящей книги.

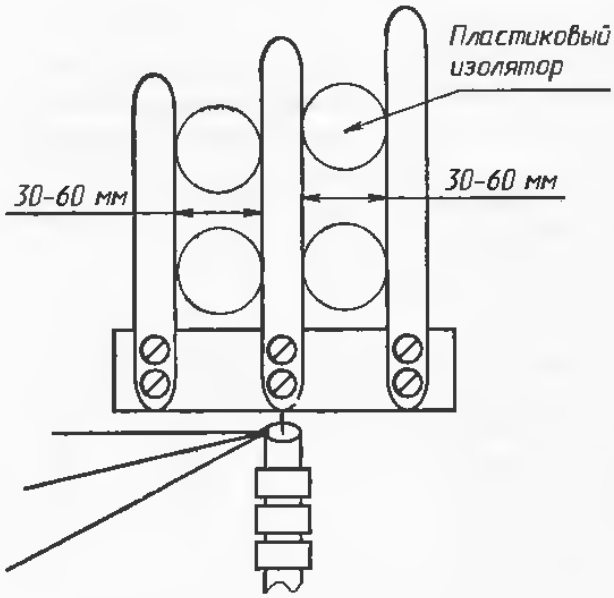


Рис. 2.3. Фиксация вибраторов антенны

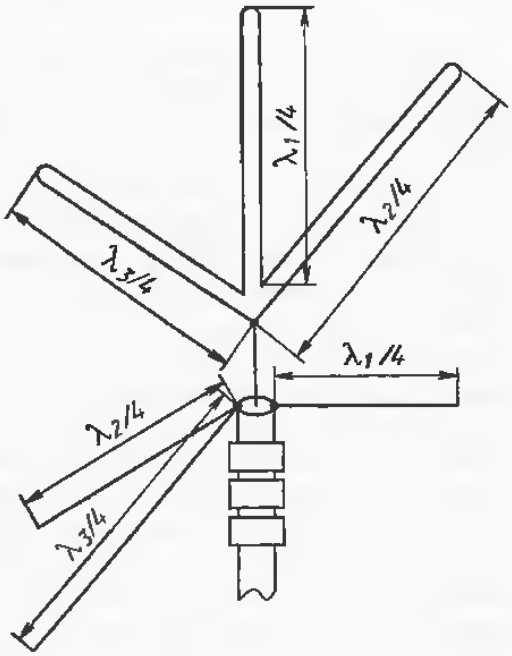


Рис. 2.4. Веерное расположение вибраторов антенны

Количество резонансных противовесов, используемых с многодиапазонной вертикальной антенной, должно быть не менее даух для каждого диапазона работы антенны. В случае размещения антенны на небольшой высоте над металличвской крышей и хорошего контакта оплетки коаксиального кабеля с этой крышей многодиапазонная вертикальная антеннв может быть использована без противовесов.

2.2. Трехдиапазонная антенна для низкочастотных диапазонов

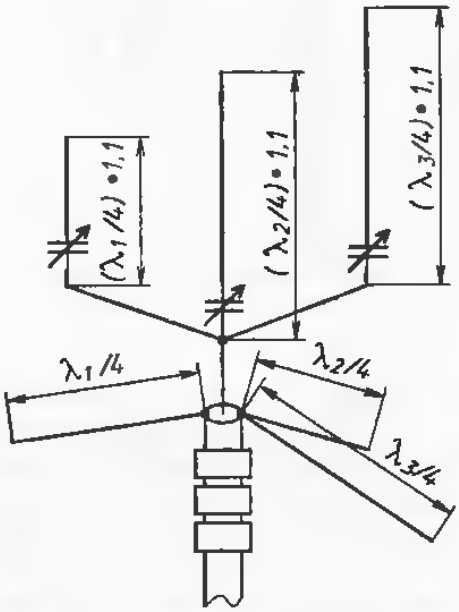


Рис. 2.5. Настройка вибраторов антенны в резонанс при помощи укорачивающих конденсаторов

На низкочастотные КВ диапазоны вибраторы внтенны целесообразно выполнить из медного провода диаметром 1...2 мм. На низкочастотных диапазонах влияние окружающих антенну предметов на нев будет высоким. Следовательно, скорей всвго потребуется подстройка длины каждого вибратора на кеждом диапазоне работы антенны. При выполнении антенны необходимо предусмотреть конструктивную возможность для такой подстройки. Для этого вибраторы антенны целвсообразно выполнить чуть больше, чвм четверть длины волны. Настройку вибраторов многодиапазонной вертикальной антенны в резонанс на каждый диапазон работы в этом случав целесообразно производить с помощью укорачивающих конденсаторов (рис. 2.5).

Конечно, настраивать антенну в резонанс при помощи укорачивающих конденсаторов можно не только на нижних коротковолновых диапазонах, но и на верхних. Емкость укорачиающего конденсатора может быть до 100 пФ при работе вибраторов антенны в диапазонах 6—17 метров,

до 150 пФ при работе вибраторов антенны в диапазонах 20—30 метров, 200 пФ при работе вибраторов антенны в диапазонах 40—80 метров и до 250 пФ при работе антенны на 160 метрах.

Следует обратить серьезное внимвние на то, что нв конце коаксиального кабеля питания вышеописанных антенн должен быть установлен высокочастотный дроссель. Этот дроссель препятствует затеканию высокочастотных токов на внешнюю оболочку коаксиального кабеля, которая в этом случае будет служить излучающей частью антенны, что приведет к увеличению уровня помех при работе антенны на передачу. Наиболее простая конструкция такого высокочастотного дросселя — это 10—30 ферритовых колец, туго надетых на конце коаксиального кабеля, что было описано ранее.

2.3. Вертикальный штырь в работе многодиапазонной антенны

Среди радиолюбителей распространено использовать один вертикальный вибратор для работы на нескольких любительских диапазонах. Однако простым подбором физической длины вибратора антенны невозможно подогнать его входное сопротивление к волновому сопротивлению коаксиального кабеля на нескольких любительских диапазонах. Следовательно, невозможно использовать коаксиальный кабель для прямого питания такой антенны. В этом случае для питания вертикальной антенны вполне возможно использовать деухпроводную открытую линию. Двухпроводная линия допускает работу с большим значением КСВ. В такой конструкции антенной системы двухпроводная линия на одном конце подключается непосредственно к штырю антенны, а другой конец двухпроводной линии через согласующее устройство подключается к трансиверу. Схема многодиапазонной вертикальной антенны с питанием по двухпроводной линии показана на рис. 2.6.

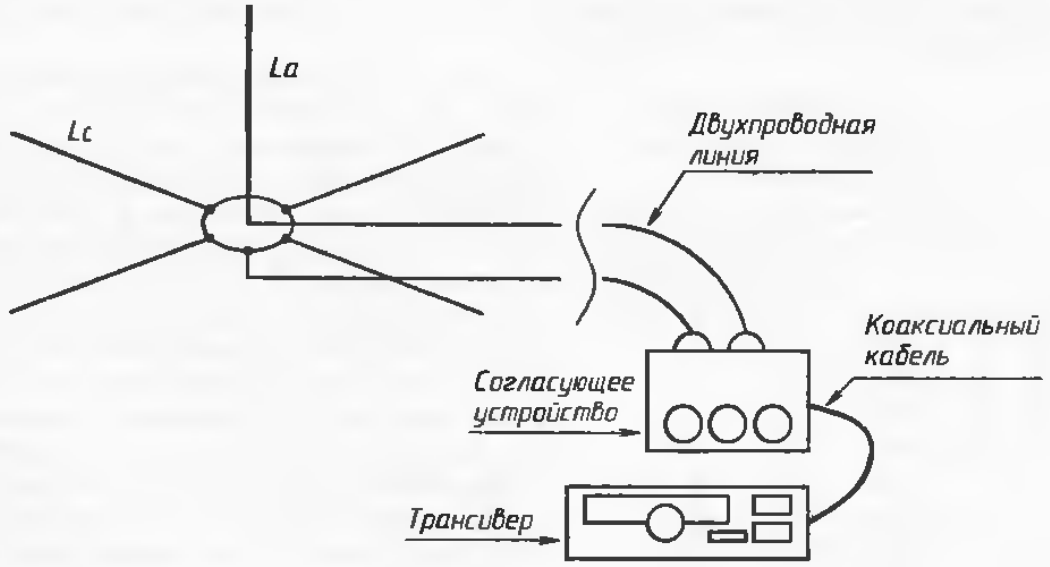


Рис. 2.6. Схема многодиапазонной вертикальной антенны с питанием по двухпроводной линии

Антенна состоит из штыря длиной *La* и минимум четырех противовесов длиной *Lc*. Для эффективной работы вертикальной антенны, штырь которой не настроен в резонанс с излучаемым ей сигналом, необходимо чтобы электрическая длина штыря была не менее λ/8. При такой длине активное входное сопротивление штыря составляет около 5 Ом. Эта та крайняя величина входного сопротивления антенны, которое еще поддается удовлетворительному согласо-

ванию при питании штыревой антенны при помощи двухпроводной линии. Следовательно, для того чтобы антенна работала в любительских диапазонах 6—80 метров, достаточно, чтобы длина ее вертикальной части была равна не менее 5 м. Как указывается во многих радиолюбительских источниках, для работы такой суррогатной вертикальной многодиапазонной антенны необязательно использовать резонансные противовесы, которые, безусловно, улучшают работу антенны, но в то же время значительно усложняют ее конструкцию. Для удовлетворительной работы антенны вполне достаточно четырех противовесов длиной, равной высоте штыря.

До сих пор среди радиолюбителей нет единого мнения, какой длины штырь необходимо использовать для создания многодиапазонной вертикальной антенны с питанием по двухпроводной открытой линии. Есть два противоположных мнения о длине штыря. Первое, что штырь должен иметь резонансы на верхних любительских диапазонах, на которых используется антенна, и другое, что не обязательно, чтобы штырь имел резонансы на диапазонах работы антенны.

Теоретически для работы этой антенны нет разницы, используется ли штырь резонансной длины либо резонанс штыря там лежит вне любительского диапазонв. А на практике многодиапазонная антенна с нерезонансным штырем, питаемая по деухпроводной линии, может оказаться эффективнее, так как при помощи известных согласующих устройств весьма несложно осуществить согласование системы «нерезонансный штырь—линия питания».

С помощью программы TLW мной была проанализирована эффективность питания приведенных ниже резонансных и нерезонансных вертикальных антенн. Нельзя сказать, что антенна резонансной длины имеет преимущество в питании перед антенной нерезонансной длины, и наоборот. При многодиапазонной работе штыря любая его резонансная длина для одного диапазона является компромиссной для другого. Так же и с питанием. Где работает лучше резонансный штырь, а где — нерезонансный. Наверное поэтому число сторонников резонансных и нерезонансных штыревых многодиапазонных антенн почти одинаково, ниже разберем оба эти варианта выполнения антенны.

Таблица 2.2

Значения коэффициента усиления антенны WB6AAM

Диапазон, м	Электрическая длина антенны, λ	Усиление по отношению к вертикалу длиной λ/4, дБ
6	0,9	5
10	0,58	3
12	0,51	2
15	0,43	1,5
17	0,36	1
20	0,28	0.5
30	0,2	-0.5
40	0,15	-3
80	0,08	-6
160	0,037	-14

Классической нерезонансной конструкцией многодиапазонного вертикального штыря, используемого радиолюбителями во всем мире необходимо признать антенну WB6AAM, рассмотренную в литературе [1]. Штырь антенны и ее противовесы имеют длину, равную 6,1 м. В табл. 2.2 приведены значения коэффициента усиления антенны WB6AAM относительно четвертьволнового несимметричного вибратора работающего на сравниваемом диапазоне. Как видно из этой таблицы, параметры этой антенны весьма хороши на диапазонах 6—20 метров, удовлетворительны при работе в диапазонах 30—40 метров, и антенна может быть использована для вспомогательной работы на диапазоне 80 метров. В литературе [2] радиолюбителем DL2JWN приведено описание нерезонансной антенны с длинами вертикальной части и противовесов, равными по 6,7 м. Очевидно, что параметры антенны DL2JWN незначительно отличаются от параметров антенны WB6AAM. Практически для работы антенны нет разницы, какая длина штыря используется для построения многодиапазонной вертикальной антенны или 6,1, или 6,7 м. Длина штыря в этом

случае зависит только от удобства использования тех или иных материалов для выполнения многодиапазонной антенны.

Давайте рассмотрим многодиапазонныв вертикальные антенны с питанием по деухпроводной линии и имеющих штырь резонансной длины для некоторых ее диапазонов работы. Антенна с высотой вертикальной части и длиной противовесов по 508 см описана радиолюбителем с позывным W4VON в литературе [3]. Эта антенна работает в резонансном режиме на диапазонах 10 и 20 метров. Высота антенны W4VON меньше, чем высота антенны WB6AAM. Следовательно, антенна W4VON работает немного менее эффективно, чем антенна WB6AAM. Антенна W4VON питается при помощи двухпроводной линии, в описании указывается на возможность ее работы в любительских диапазонах 10...80 метров.

Вертикальная многодиапазонная антенна с длиной вертикальной части 10 м и тремя противовесами такой же длины описана радиолюбителем с позывным W1AB в литературе [4]. Антенна имеет резонансы на любительских диапазонах 10, 20 и 40 метроа. Эта антенна вследствие относительно большой длины вертикальной части может обеспечить работу не только на диапазонах 10...80 метров, как указано в ее описании, но и на диапазоне 160 метров. Усиление ее будет примерно в полтора раза выше по сравнению с вертикальной антенной WB6AAM (см. табл. 2.2). Конечно, при наличии достаточного места для размещения антенны, при наличии материалов, опыта установки высоких вертикальных антенн, лучше использовать многодиапазонную антенну с длиной вертикальной части, составляющей 10 и более метров.

Двухпроводная линия передачи для питания многодиапазонных вертикальных антенн может быть использована с любым волновым сопротивлением. Это может быть самодельная двухпроводная линия, имеющая случайное волновое сопротивление, можно использовать стандартный ленточный кабель, например типа КАТВ.

При мощности, подводимой к антенне, не более 100 Вт, можно использовать в качестве деухпроводной линии передачи телефонный двухпроводный кабель типа ТРП, ТРВ, ПРПП, который среди радиолюбителей больше известен под названием «лапша». К сожалению, этот кабель при его эксплуатации под действием атмосферных условий обычно через несколько лет выходит из строя. Это происходит из-за разрушения пластиковой неружной изоляции и вследствие этого окисления жил линии передачи. Линия передачи с окисленными жилами совершенно непригодна в качестве линии передачи высокочастотной энергии.

Антенны с питанием по двухпроводной линии передачи используются радиолюбителями все еще редко. Это, на мой взгляд, можно объяснить только отсутствием в продаже недорогих двухпроводных линий передачи, которые могут работать достаточно долгое время под воздействием атмосферных условий. Использовать самодельные открытые линии передачи не всегда удобно. Доступный редиолюбителям телефонный кабель ТРП, ТРВ, ПРПП «живет» на открытом воздухе только 2—3 года. Это ограничивает его использование для построения антенн.

Однако в последнее время в широкой продаже и по приемлемым ценам начинают появляться деухпроводные импортные линии передачи (типа нашего КАТВ) с различными волновыми сопротивлениями. Можно надеяться, что интерес к многодиапазонным вертикальным антеннам с питанием по двухпроводной линии сради радиолюбителей возрастет снова.

2.4. Антенна UA1DZ

Именно из-за дефицита открытых линий передечи, радиолюбители предпринимают попытки питать многодиапазонную антенну через коаксиальный кабель с использованием различных согласующих устройств, расположенных непосредст-

венно на штыра антенны. Одна из наиболее удачных конструкций многодиапазонной вертикальной антенны была осуществлена радиолюбителем UA1DZ. Наиболее раннее описание этой антенны, данное самим UA1DZ, было приведено в литературе [5]. Конструкция многодиапазонной вертикальной антенны UA1DZ и ее согласующих устройств показана на рис. 2.7.

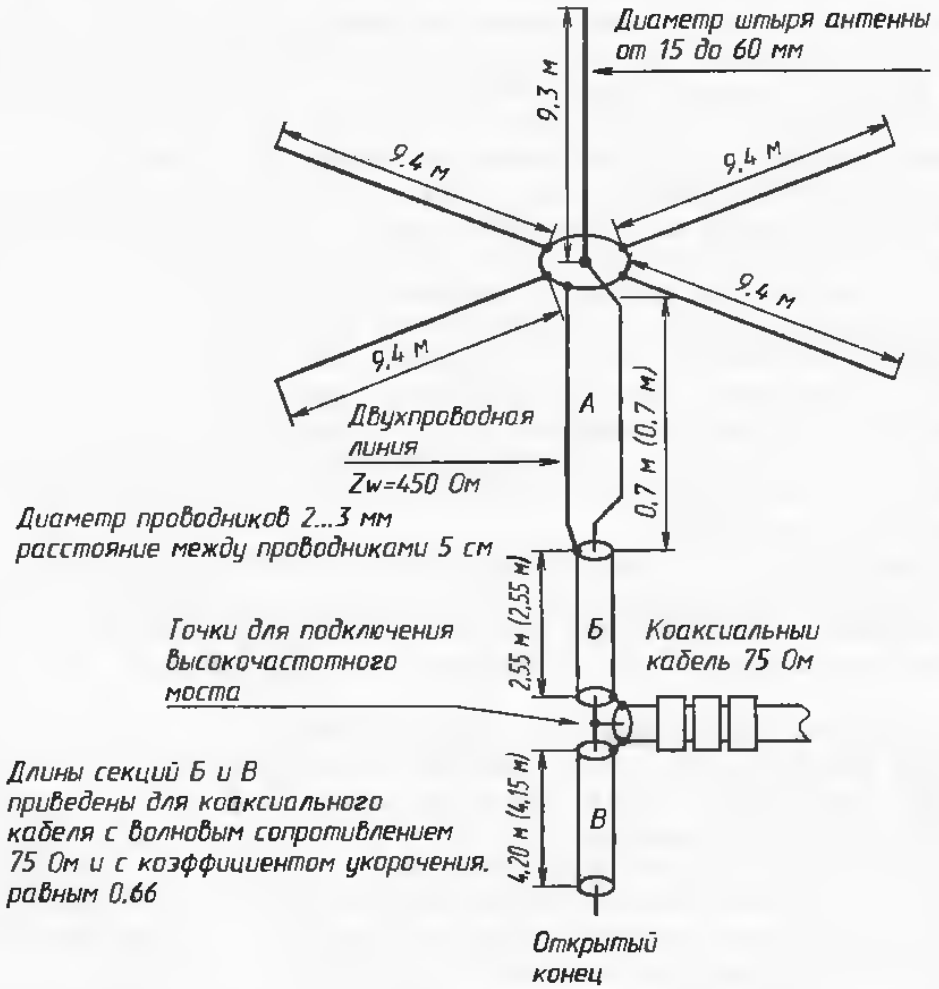


Рис. 2.7. Конструкция многодиапазонной вертикальной антенны UA1DZ

Высота штыря антенны UA1DZ составляет 9,3 м. Эта длина выбрана не случайно. Для конструкции штыря антенны радиолюбитель UA1DZ использовал старую военную штыревую антенну, длина которой была равна 9,3 м. Противовесы антенны имеют длину, равную 9,4 м. Они выполнены из провода диаметром 1,5 мм и расположены противоположно друг другу (см. главу 7 настоящей книги).

Первоначальное согласование входного сопротивления штыря антенны и системы противовесов с волновым сопротивлением коаксиального кабеля питания осуществляется с помощью открытой линии *А* длиной примерно 1 м и с волновым сопротивлением 450 Ом. Она служит для предварительной трансформации входного сопротивления антенной системы в волновое сопротивление питающего коаксиального кабеля. Далее с помощью согласующего отрезка коаксиального кабеля *Б* с волновым сопротивлением 75 Ом производят дальнейшую трансформацию входного сопротивления антенной системы в волновое сопротивление коаксиального кабеля питания 75 Ом. Отрезок коаксиального кабеля *В* производит компенсацию реактивной составляющей в линии питания антенны. Антенна может работать на диапазонах 7, 14, 21 МГц с КСВ менее 2

Следует обратить внимание, что в разных описаниях антенны UA1DZ приводились несколько отличающиеся друг от друга длины согласующих линий *А*, *Б*, *В*. Современные программы моделирования антенн позволили найти оптимальные длины для этих согласующих линий. Они были рассчитаны радиолюбителем VA3TTT (ex UA9XCD, UZ3XWB). В литературе [6] приведены оптимизированные длины для этих согласующих линий. Оптимизированные длины линий приведены на рис. 2.7 в скобках. Как видно, только для линии В оптимизированная длина и длина согласующей секции, указанные радиолюбителем UA1DZ в первом описании этой антенны, приведенные в литературе [5], немного не совпадают.

Точную настройку антенны UA1DZ можно осуществить при помощи мостового измерителя сопротивления. Он должен быть расположен на входв согласующих устройств антенны. Уменьшая длину отрезка *А* добиваются минимального КСВ на диапазонах 7 и 21 МГц. Укорочение длины линии *А* на 5 см вызывает смещение резонанса вверх на 200 кГц на 21 МГц и на 60 кГц на 7 МГц. Вполне можно настроить антенну так, что бы минимальный КСВ находился внутри диапазонов 21 и 7 МГц. При настройке антенны для работы на этих диапазонах КСВ антенны на 14 МГц должен стать «на свое место». В качестве открытой двухпроводной линии можно использовать или самодельную открытую линию с волновым сопротивлением 450 Ом, или двухпроводную линию промышленного изготовления.

По сообщению VA3TTT, на диапазоне 7 МГц эта антенна имеет усиление 3,67 dBi, на диапазоне 14 МГц усиление 4 dBi, на диапазоне 21 МГц усиление 7,6 dBi. В литературе [5] указывается на возможность работы антенны UA1DZ на диапазоне 28 МГц, однако исследования, проведенные VA3TTT, не позволили достигнуть низких значений КСВ на этом диапазоне при использовании указанных здесь согласующих устройств на входе антенны.

Согласно рекомендациям радиолюбителя UA1DZ согласующея линия *А* должна быть удалена от крыши не менее чем на 50 см, она должна быть расположена прямолинейно в пространстве. Согласующая секция *Б* тоже должна быть расположена прямолинейно в пространстве, она должна быть удалена от крыши на расстояние 30...40 см. Согласующая секция *В* может быть свернуа в бухту и размещена в небольшой коробке. Свернутая в бухту часть *В* практически не излучает, следовательно, служит только как согласующее устройство, а не как часть антенны. При расположении части коаксиального кабеля секции *В* в развернутом состоянии от нее возможно паразитное излучение.

На конце коаксиального кабеля, питающего антенну UA1DZ, должен быть установлен высокочастотный дроссель, аналогичный тому, который описан в этой главе в параграфе о трехдиапазонных антеннах.

2.5. Многодиапазонные вертикальные антенны с заградительными контурами

Среди редиолюбителей широко распространена антенна с заградительными контурами, установленными в ее полотне. Впервые эта антенна была запатентована в США H. K. Morgan, патент № 2229856 от 1938 г. (согласно источника [7]). В литературе описание многодиапазонных антенн с заградительными контурами впервые появилось в [8]. Давайте рассмотрим принцип работы антенны с заградительными контурами. Схема такой антенны показана на рис. 2.8.

В этой антенне секция *А* настраивается для работы в диапазоне 10 метров Заградительный контур L1C1, настроенный на диапазон 10 метров, «отключает» верхнюю часть антенны при ее работе в этом диапазоне. При работе антенны в диапазоне 15 метров секция *Б* удлиняет секцию *А* до длины, резонансной в этом диапазоне. Контур L2C2, настроенный на диапазон 15 метров, отключает верхнюю

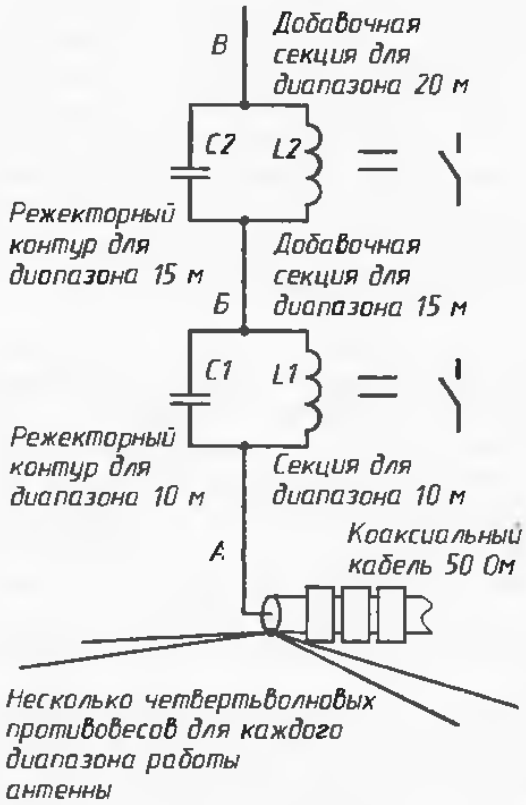


Рис. 2.8. Вертикальная антенна с заградительными контурами

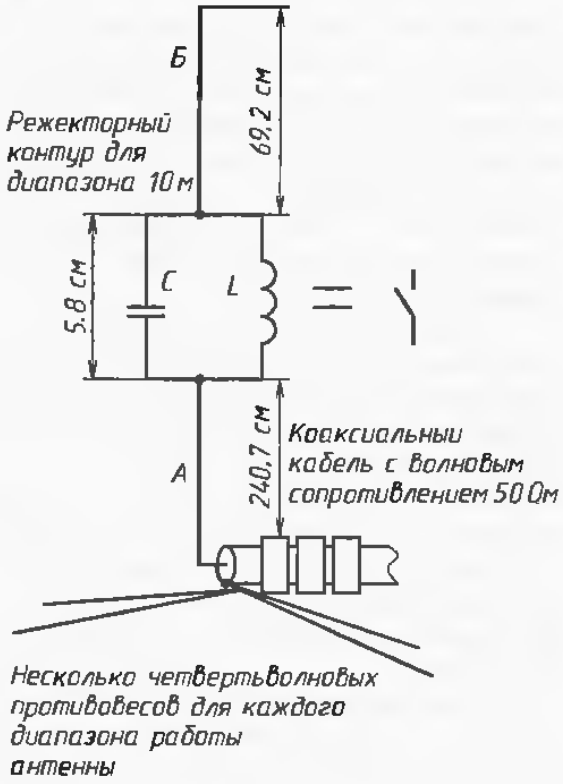


Рис. 2.9. Антенна WA1LNQ

часть антенны при ее работе в диапазоне 15 метров. Для работы на диапазоне 20 метров антенна настраивается в резонанс изменением длины секции *В*. Аналогично антенну можно настроить и на остальные радиолюбительские КВ диапазоны. На практике радиолюбители обычно не используют вертиквльные антенны с заградительными контурами в полотне антенны числом более одного. Это связано с тем, что секции антенны должны быть электрически изолированы друг от друга, а на практике выполнить достаточно прочное для существования антенны изолирующее соадинение затруднительно.

В 1955 году в литературе [9] появилась статья радиолюбителя W3DZZ о многодиапазонной антенне, в которой использоввлся только один заградительный контур. Благодаря соответствующему распределению высокочастотного тока, который обеспечивал этот контур, эта антенна могла работать на нескольких диапазонах. Ниже мы разберем работу нескольких популярных многодиапазонных антенн, которые используют только один контур.

Одной из наиболее популярных вертикальных антенн с заградительными контурами, используемой на 10 и 15 метрах, является антенна, описанная радиолюбителем WA1LNQ в литературе [10]. Схема этой антенны показана на рис. 2.9. Она выполнена из деух изолированных друг от друга трубок длиной 240,7 и 69,2 см. Длина изолирующей вставки 5,8 см. Вокруг этой вставки намотана катушка заградительного контура. Катушка выполнена из медной трубки диаметром 3—5 мм и содержит 2 витка провода с шагом 1 виток на 25 мм намотки. Средний диаметр катушки составляет 55 мм. В качестве конденсатора используется отрезок коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом и начальной длиной 80 см, который в процессе настройки постепенно укорачивается по достижению минимального КСВ в диапазоне 10 метров. После этой настройки возможна небольшая подстройка длины верхней секции антенны по минималь-

ному значению КСВ на диапазоне 15 метров. Для выполнения антенны могут быть использованы медные или алюминиевые трубки диаметром 18—25 мм.

Другой популярной многодиапазонной вертикальной антенной с заградительными контурами является четырехдиапазонная вертикальная антенна K2GU, описание которой было приведено в литературе [11]. Антенна работоспособна в любительских диапазонах 10, 15, 20, 40 метров. Схема антенны показана на рис. 2.10. Для питания антенны используется 50-омный коаксиальный кабель. КСВ, реально достижимые с ним, — 1,3:1 на 7,05 МГц; 1,1:1 на 14,1 МГц; 2,5:1 на 21,2 МГц; 1,1:1 на 28,5 МГц.

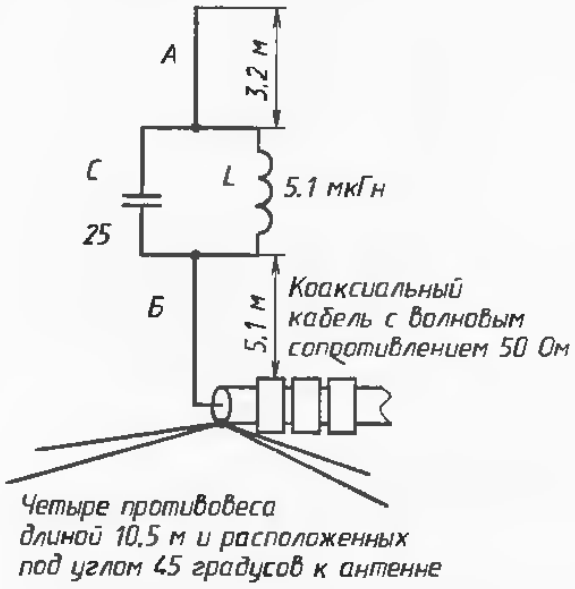


Рис. 2.10. Четырехдиапазонная вертикальная антенна с одним заградительным контуром

Рассмотрим работу антенны. На диапазоне 20 метров заградительный контур *LC* отключает верхнюю секцию антенны *А*. Оставшаяся секция *Б* эффективно работает как четвертьволновый вибратор. На диапазоне 40 метров геометрическая длина антенны меньше четверти волны, но контур *LC* на этом диапазоне имеет индуктивный характер сопротивления, который компенсирует емкостную составляющую короткого штыря. Контур здесь работает как удлиняющая катушка, которая увеличивает электрическую длину антенны до резонансной четвертьволновой в диапазоне 40 метров.

На диапазоне 10 метров контур *LC* имеет емкостной характер сопротивления, который приводит общую электрическую длину антенны к величине 3/4λ. На диапазоне 15 метров антенна имеет КСВ больший (2,5:1), но в то же время при использовании совместно с трансивером внешнего согласующего устройствв может на нем эффективно работать.

Рассмотрим конструкцию заградительного контура. Катушка, используемая в нем, бескаркасная, содвржит 10 витков, диаметр ее провода равен 2 мм, диаметр намотки катушки 6 см, шаг намотки — 4 мм. Заградительный контур *LC* должен быть настроен в резонанс на частоту 14,1 МГц. Его предварительно настраивают с помощью ГИР. Во время настройки параллельно контурному конденсатору подключают добавочный конденсатор емкостью 2...3 пФ. Этот конденсатор имитирует емкость между изолирующей вставкой верхнего и нижнего конца антенны. Контурный конденсатор необходимо защищеть от воздействия на него атмосферных воздействий. Настройку этой антенны производят изменением длины секций *А* и *Б* по наименьшему КСВ антенны на ее диапазонах работы.

На подобном принципе укорочения-удлинения полотна антенны до резонансного с помощью заградительного контура можно построить антенны, работающие и на других любительских диапазонах. В отечественной литературе [12] была описана вертикальная антенна с одним заграждающим контуром, работающая в диапазонах 10, 15, 20, 40, 80 метров. Схема этой антенны показана на рис. 2.11.

Заградительный контур антенны составлен из катушки индуктивностью 8,3 мкГн и конденсатора емкостью 60 пФ. Это обычный контур, используемый в антенне W3DZZ, и его конструктивные данные неоднократно приводились в радиолюбительской литературе, например в [13]. Приведем здесь данные для его выполнения. Диаметр катушки равен 50 мм, число витков 19, длина намотки 80 мм, использован провод диаметром 1,5 мм.

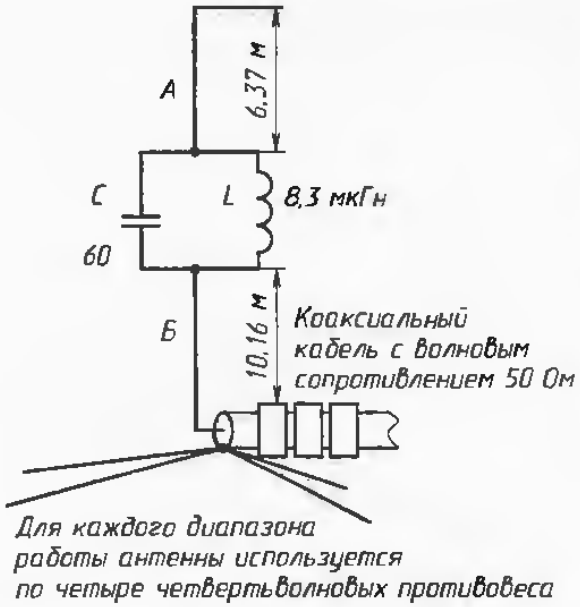


Рис. 2.11. Пятидиапазонная вертикальная антенна с одним заградительным контуром

Рассмотрим работу этой антенны. При работе на диапазоне 40 метров заградительный контур отключает верхнюю часть антенны *А*, и электрическая длина антенны равна λ/4. На диапазоне 80 метров катушка заградительного контура имеет индуктивное сопротивление и удлиняет короткую антенну до электрической длины λ/4 в этом диапазоне. На диапазоне 20 метров заградительный контур имеет емкостный характер сопротивления и электрическая длина антенны укорачивается до 3/4λ. При работе на диапазонах 10 и 15 метров за счет емкостной составляющей заградительного контура антенна укорачивается соответственно до электрической длины 7/4λ и 5/4λ.

Для эффективной работы этой антенны необходима система из резонансных противовесов количеством не менее 4 для каждого диапазона работы антенны. Антенну можно питать через коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом и электрической длиной, кратной половине длины волны в диапазоне 80 метров. При коэффициенте укорочения кабеля 0,66 его физическая длина будет равна 27,9 м. В этом случае КСВ антенны на диапазонах работы антенны не превышает 2. Для изготовления вертикального вибратора можно использовать алюминиевые трубы диаметром 40...50 мм. Большой диаметр труб обусловлен значительной высотой антенны, и, следовательно, необходима механическая прочность ее конструкции.

На конце коаксиального кабеля, питающего любую из описанных здесь многодиапазонных вертикальных антенн с заградительным контуром, должен быть установлен высокочастотный дроссель. Конструкция этого дросселя может быть аналогичной дросселю, который был описан в этой главе в параграфе о трехдиапазонных антеннах.

2.6. Open Sleeve

В конце этой главы хочу остановиться на очень интересной многодиапазонной антенне известной под названием «Open Sleeve». Эта антенна была разработана в 1946 году при Stanford Research Institute USA известным исследователем Dr. J. T. Bollijahn [14]. В первое время эта антенна не получила широкого распространения. Но в последнее десятилетие к этой антенне возрос интерес как среди радиолюбителей, так и среди профессионалов. Это вызвано тем, что в настоящее время при помощи широко распространенных компьютерных программ расчета антенн можно смоделировать конструктивно простую многодиапазонную антенну.

Давайте разберем принцип работы антенны Open Sleeve. Предположим, мы установили четвертьволновую вертикальную антенну на диапазон 20 метров (рис. 2.12,а). Такая антенна длиной 5,1 м при расположении над идеальной проводящей поверхностью имеет входное сопротивление 36 Ом. Эту антенну можно сравнительно просто согласовать с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. А теперь давайте расположим рядом с этой четаертьволновой вертикальной антенной диапазона 20 метров провод длиной 2,5 м. Этот провод подключен к земле (или к оплетке коаксиального кабеля), и расположен нв расстоянии примерно 10 см от штыря антенны (рис 2.12,б)

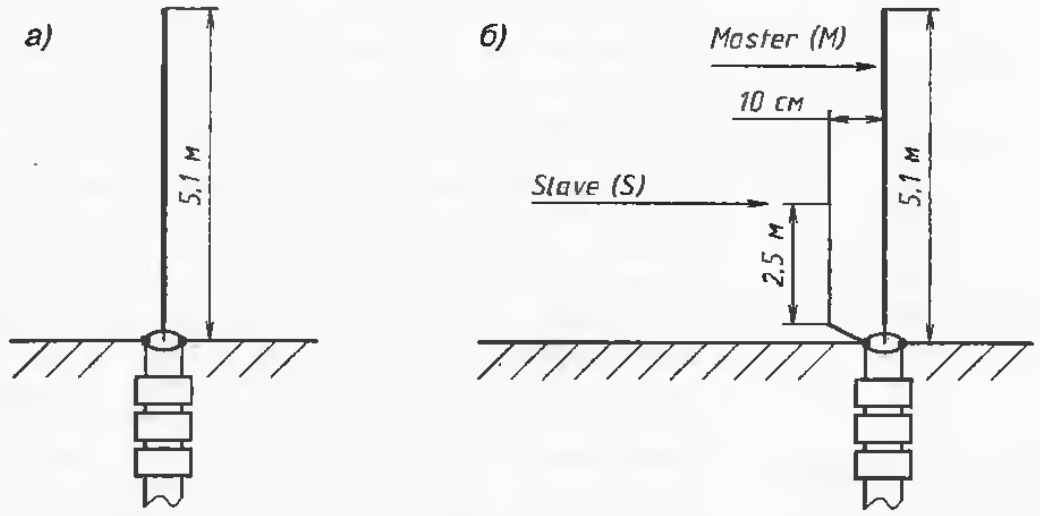


Рис. 2.12. Переход от четвертьволновой антенны к антенне Open Sleeve

Что изменилось в работе этой вертикальной антенны на диапазоне 20 метров? Добавочный проводник, подключенный к земле и расположенный рядом с вибратором антенны, немного понизил резонансную частоту вертикальной антенны. Для того чтобы для диапазона 20 метров частоту настройки вибратора антенны «вернуть на место», его необходимо немного укоротить.

А что изменилось в работе этой антенны на других диапазонах, например на 10 метрах? Входное сопротивление «чистой» вертикальной антенны высотой 5,1 м и электрической длиной 0,5λ для диапазона 10 метров является чрезвычайно высоким. Но с добавочным проводником, расположенным рядом с вибратором антенны, эквивалентная схема антенной системы будет соответствовать приведенной на рис. 2.13.

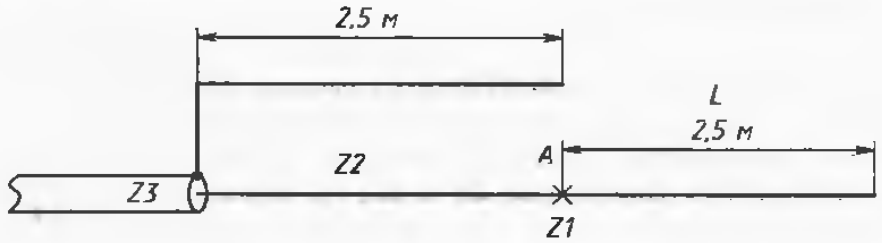


Рис. 2.13. Эквивалентная схема антенны Open Sleeve

На диапазоне 10 метров можно рассматривать, что часть вибратора антенны *L* длиной 2,5 м, которая имеет входное сопротивление *Z1* в точке *A*, через четвертьволновую линию, имеющую волновое сопротивлением *Z2*, подключена к питающему коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением *Z3*. Соответствующим выбором *Z1*, *Z2*, *Z3* можно осущестаить согласование вибратора антенны на диапазоне 10 метров. Входное сопротивление *Z1* зависит от длины части антенны *L*, входное сопротивление *Z2* линии, образованной вибратором антенны и добавочным проводником около нее, зависит от физических размеров этой линии, *Z3* — это стандартное волновое сопротивление коаксиального кабеля (50 или 75 Ом). Следовательно, только при помощи добавления одного добавочного проводника около антенны можно синтезировать двухдиапазонную антенну! В этой антенне основной вибратор принято называть Master-вибратор, а вспомогательные вибраторы, которые заставляют работать антенну на ее верхних диапазонах, принято называть Slave-вибраторы.

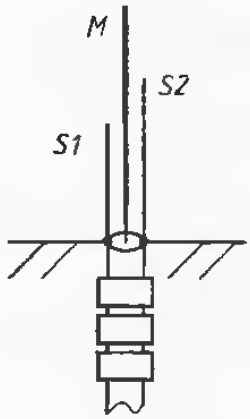


Рис. 2.14. Трехдиапазонная антенна Open Sleeve

Ранее практическое воплощение таких антенн было затруднено. Для создания таких антенн было два пути. Первый из них — макетирование антенны. Для того чтобы сконструировать антенну с удовлетворительными параметрами, необходимо было проделать множество экспериментов. Второй путь — расчет параметров антенны на бумаге. Однако математическая оптимизация одной двухдиапазонной антенны требовала продалать сотни вычислений! В 50—60 годах эти вычисления производились с помощью логарифмической линейки, затем с помощью ЭВМ на лампах и транзисторах. Только быстрое развитие компьютеров в 80—90-х годах XX века устранило сложность многочисленных расчетов, необходимых для оптимизации этой антенны. Теперь современная недорогая компьютерная программа для расчета и моделирования антенн и даже ее демонстрационная бесплатная версия могут рассчитать антенну Open Sleeve.

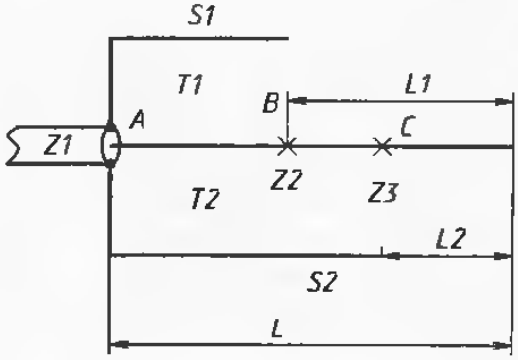


Рис. 2.15. Эквивалентная схема антенны

Конечно, радиолюбитель может сразу задать вопрос. Только ли двухдиапазонные антенны Open Sleeve можно построить по приведенной выше методике? Конечно нет! На таком принципе можно построить трех-, четырех- и даже пятидиапазонные антенны! Рассмотрим для примера построение трехдиапазонной антенны, рассчитанной для работы в диапазонах 10, 15 и 20 метров. Конструкция такой антенны показанв на рис. 2.14, эквивалентная схема антенны показана на рис. 2.15.

Работает антенна следующим образом. На диапазоне 20 метров в месте подключения коаксивльного кабеля питания (точка *A*) входное сопротивление *Z1*, которое имеет вибратор антенны, равно волновому сопротивлению коаксиального кабеля. Это равенство выполняется с учетом влияния на параметры вибратора антенны близко расположенных проводников *S1* и *S2*. На диапазоне 10 метров входное сопротивление *Z2*, которое имеет часть вибратора антенны длиной *L1* в точке *B*, при помощи трансформатора *T1* приводится к волновому сопротивлению коаксиального кабеля. На диапазоне 15 метров входное сопротивление *Z3*, которое имеет часть вибратора антенны длиной *L2* в точке в точке C, при помощи трансформатора *T2* приводится к волновому сопротивлению коаксиального кабеля.

Просчитать размеры трехдиапазонной антенны с помощью логарифмической линейки весьма затруднительно. Такой расчет может занять, наверное, не один месяц напряженной работы. Вот почему широкое освоение антенн типа Open Sleeve и особенно их трех-, четырехдиапазонных вариантов началось только в наше время. Время, когда программы расчета антенн стали широкодоступны, а скорость работы компьютеров увеличилась.

Для работы антенны Open Sleeve необходима хорошая радиотехническая земля. Оптимвльный вариант — расположение антенны над металлической проводящей крышей. Если это условие выполнить невозможно, то необходимо применить 3—5 противовеса, резонансных для нижнего диапазона работы антенны. Использовать резонансные противовесы для верхних диапазонов работы антенны нежелательно.

При точном выполнении внтенны по рассчитанным размерам ее резонансные частоты уже должны находиться в любительских диапазонах. Однако из-за влияния окружающих предметов, из-за погрешностей при неточном выполнении антенны по рвзмерам антенна Open Sleeve обычно требует небольшой подстройки в реальных условиях ее установки. Давайте рвзберем процесс настройки антенны Open Sleeve. Настройка антенны заключается в получении значения ее входного сопротивления на клеммвх подключения коаксиального кабеля питания, равного волновому сопротивлению этого коаксиального кабеля. Измерять входное сопротивление этой антенной системы удобно при помощи высокочастотного моста.

Рассмотрим настройку двухдиапазонной антенны, показанной на рис. 2.16. Первонвчально измеряют входное сопротивление антенной системы на ее нижней рабочей частоте. Если резонанс антенны не совпадает с расчетным, то изменением длины *L* вибратора *M* приводят его резонансную частоту в необходимый диапвзон работы. На этом дивпазоне входное сопротивление вибратора *M* может отличаться от 50 Ом. При помощи изменения угла наклона противовесов *F* относительно вибратора *M* добиваются, чтобы входное сопротивление системы находилось в пределах 50 Ом. На этом первый этап нвстройки антенны можно считать законченным. Перестраиввем генератор на верхний диапазон работы антенны и продолжаем настройку антенны.

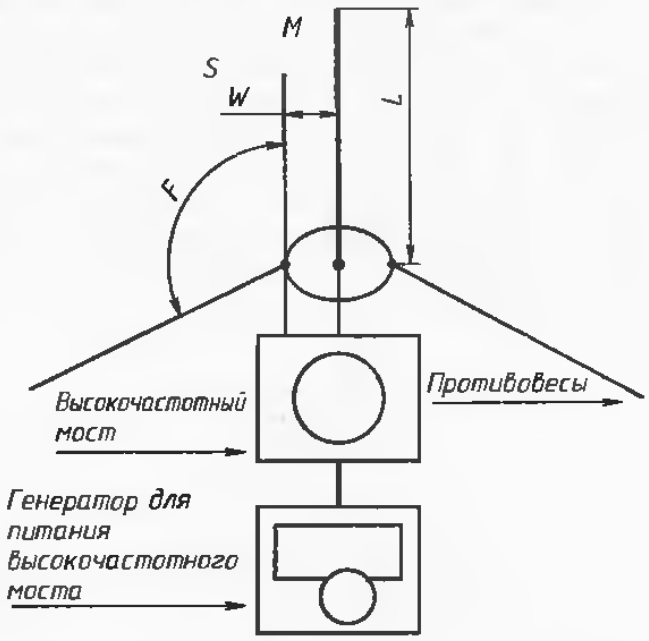


Рис. 2.16. Настройка двухдиапазонной антенны Open Sleeve

Определяем резонансную частоту и входное сопротивление антенны на верхнем диапазоне. Допустим, верхняя резонансная чвстота антенны получилась ниже необходимой, а входное сопротивление выше волнового сопротивления коаксиального кабеля. Это наиболее благоприятный вариант при настройке антенны. Приближаем элемент *S* к вибратору *M*. При уменьшении расстояния *W* между вибратором *M* и элементом *S* уменьшается волновое сопротивление согласующего трансформатора, обрвзоввнного элементом *S* и частью вибратора *M*. Вследствие этого уменьшается входное сопротивление антенны на стороне питания ее коаксиальным кабелем. При приближении элемента *S* к вибратору *M* верхняя частота работы антенны увеличиввется [14]. Если с помощью только одного приближения элемента *S* к вибратору *M* не удается установить верхний диапазон работы антенны в нужный участок, то тогда придется изменять длину элемента *S*.

Если входное сопротивление системы на резонансе уже составляет 50 Ом, а резонансная частота ниже требуемой, то можно попробовать укоротить элемент *S*. Очевидно, что в этом случае согласующий трансформатор антенны нвстроен ниже необходимой частоты. Уменьшение длины трансформатора (или длины элемента *S*) повысит частоту его работы. После уменьшения длины трансформатора (элемента *S*) при помощи приближения или удаления этого элемента относительно вибратора *M* снова добиваются входного сопротивления, рввного 50 Ом на верхней рабочей частоте антенны.

Если, нвоборот, окажется что при входном сопротивлении 50 Ом верхняя частота работы антенны Open Sleeve выше необходимой, увеличивают длину элемента *S*.

или, что то же самое, понижают частоту настройки согласующего трансформатора. Исходя из выше изложенного, понятна стратегия настройки антенны.

1. Приближение элемента *S* к вибратору *M* понижает входное сопротивление антенны и увеличивает ее резонансную частоту.

2. Удаление элемента *S* от вибратора *M* увеличивает входное сопротивление антенны и понижает ее рабочую частоту.

3. Увеличение длины элемента *S* (или, что то же самое, увеличение рабочей длины волны четвертьволнового трансформатора) понижает частоту настройки антенны.

4. Уменьшение длины элемента *S* (или, что то же самое, уменьшение рабочей длины волны четвертьволнового трансформатора) повышает частоту настройки антенны.

После окончательной настройки антенны на верхней рабочей частоте полезно проверить параметры антенны на ее нижней рабочей частоте. Как видно из этого описания, настройка антенны Open Sleeve на один диапазон относительно несложна. Но настройка 3, 4 или 5-диапазонной антенны уже не такая простая задача. Элементы *S* оказывают влияние друг на друга и на вибратор *M*, и при настройке антенны на одном из ее верхних диапазонов работы резонансная частота антенны на других диапазонах тоже изменится. И все же, при настойчивости, вполне возможно произвести настройку антенны Open Sleeve для работы на 3 и даже на 5 диапазонах!

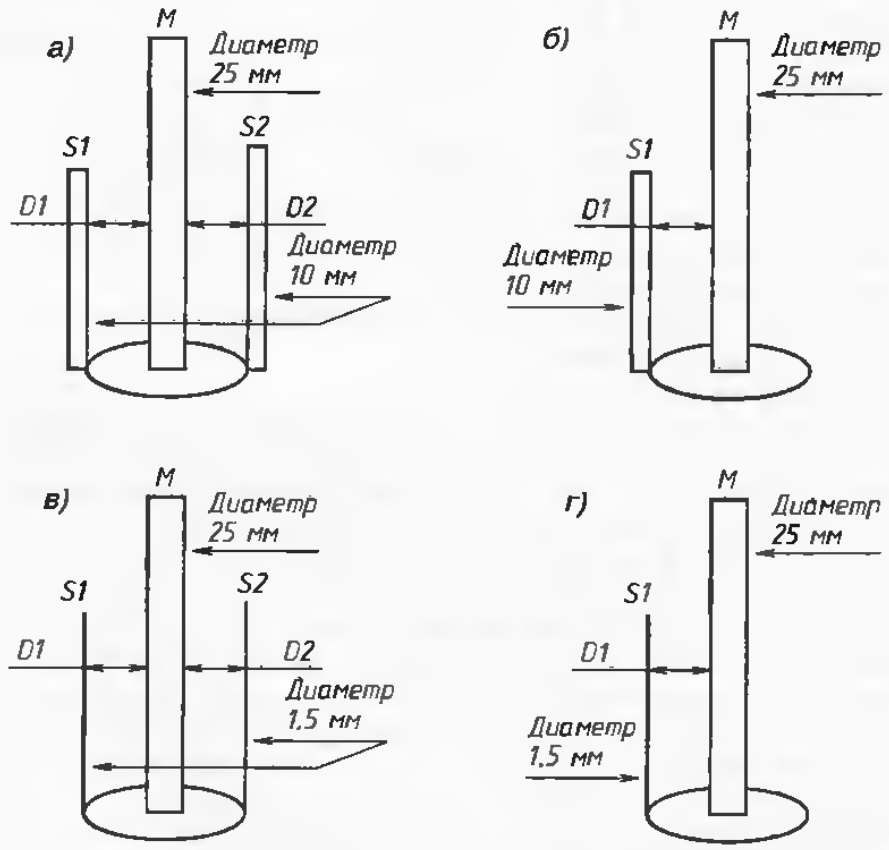


Рис. 2.17. Семейство антенн Open Sleeve

В табл. 2.3 приведены данные для выполнения антенны Open Sleeve для 2 и 3 любительских диапазонов. Эти антенны были рассчитаны радиолюбителем UA3AVR [15]. На рис. 2.17 показаны конструкции антенн, поясняющие табл. 2.3.

Дальнейшее развитие антенн Open Sleeve может привести к созданию многодиапазонной вертикальной антенны, работающей во всех любительских коротковолновых диапазонах. Теоратически это вполне возможно.

Таблица 2.3

Данные для выполнения антенны Open Sleeve

Диапазоны работы антенны, м	Длина М, мм	Длина S1, мм	Расстояние между элементами D1, мм	Длина элемента S2, мм	Расстояние между элементами D2, мм	Вариант выполнения антенны, рис
20, 14; 10	5166	3407	220	2573	200	2.17,а
14; 10	3630	2527	220	—	—	2.17,б
20, 14; 10	5149	3451	220	2601	200	2.17,в
14; 10	3432	2567	210	—	—	2.17,г

ЛИТЕРАТУРА

1. James G. Coote WB6AAM A simple, multiband vertical antenna. QST, March, 1987, P. 46.
2. Андреас Аурих DL2JWN. Всеволновая вертикальная антенна // Funkama teur, № 5, 1999. — С. 562, 563. Из раздела «Дайджест». — Радиохобби. — № 5. — 1999. — С. 21—22.
3. Ground Plane с двухпроводным фидером // QST. — 1968. — № 4, раздел «За рубежом». — Радио. — №9. — 1968. — С. 62.
4. Ол Брогдон W1AB // QST. — 1999. — № 6. — С. 56—57. Из раздела «Дайджест». — Радиохобби. — № 4. — 1999. — С. 24—25.
5. RB5IM.: Ground plane UA1DZ. Бюллетень UCC. — № 4, 1993, С.27.
6. Барский А. Антенна UA1DZ .www.krasnodar.online.ru/hamradio
7. By Alois Krischke : Rothammels Antennenbuch // Franckh — Kosmos, Verlags — GmbH@Co., Stuttgart, 1995, 11 edition.
6. Morgan h. K. : Multifrequency Tuned Antenna System. // Electronics, vol. 13, August 1940, pp. 42—50.
9. Buchman C. L., W3DZZ : The multimatch Antenna System. // QST, March 1955. p. 22—23, 130.
10. Jay Rusgrove, WA1LNQ: The Cheapie GP // QST, 1976, February, p. 31.
11. The Radio Amateur's Handbook, 1970, by ARRL publication.
12. Чирков М. UL7GCC. Многодиапазонная, вертикальная... // Радио. — № 12 — 1991 С. 21.
13. Ротхаммель К. Антенны. — СПб.: «Бояныч». — 1998. — 656 с. — ISBN-5-7199-0078-0.
14. ARRL Antenna Book, 19th Edition, Publication by ARRL. — ISBN 0-87259-804-7.
15. Федоров Д. (UA1AVR). — Многодиапазонные вертикалы Open Sleeve — Радиомир КВ и УКВ. — 2001. — № 8. — С 34—36.

3. КОРОТКИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КВ ДИАПАЗОНОВ

При работе на низкочастотных любительских диапазонах 80 и 160 метров желательно использовать антенны, излучающие радиоволны с вертикальной поляризацией. Радиоволна, имеющая горизонтальную поляризацию, при ее распространении в виде наземной волны в пределах прямой видимости испытывает повышенные потери по сравнению с радиоволной с вертикальной поляризацией. При ионосферном распространении (при отражении радиоволн от проводящих слоев ионосферы) часто наибольшие потери испытывают радиоволны, имеющие горизонтальную поляризацию по сравнению с радиоволнами, имеющими вертикальную поляризацию. Радиолюбители на своей практике убедились, что на диапазонах 80 и 160 метров короткая вертикальная антенна предпочтительнее длинной

горизонтальной. В этой главе мы рассмотрим работу, установку и настройку короткой вертикальной антенны для диапазонов 80 и 160 метров.

3.1. Сопротивление излучения короткой вертикальной антенны

Как известно, сопротивление излучения короткой вертикальной антенны составляет малую величину. Давайте рассмотрим, какое сопротивление излучения имеет короткая вертикальная антенна. На рис. 3.1 приведен график сопротивления излучения короткой вертикальной антенны, размещенной над идаальной землей, на любительских диапазонах 80 и 160 метров. Как видно из этого графика, сопротивление излучения короткой вертикальной антенны высотой до 0,1λ составляет менее 5 Ом. Однако величина 0,1λ составляет 8 метров для диапазона 80 м и 16 метров для диапазона 160 метров. Это уже значительные размеры для радиолюбительской антенны, и подходить к конструированию такой антенны необходимо очень тщательно.

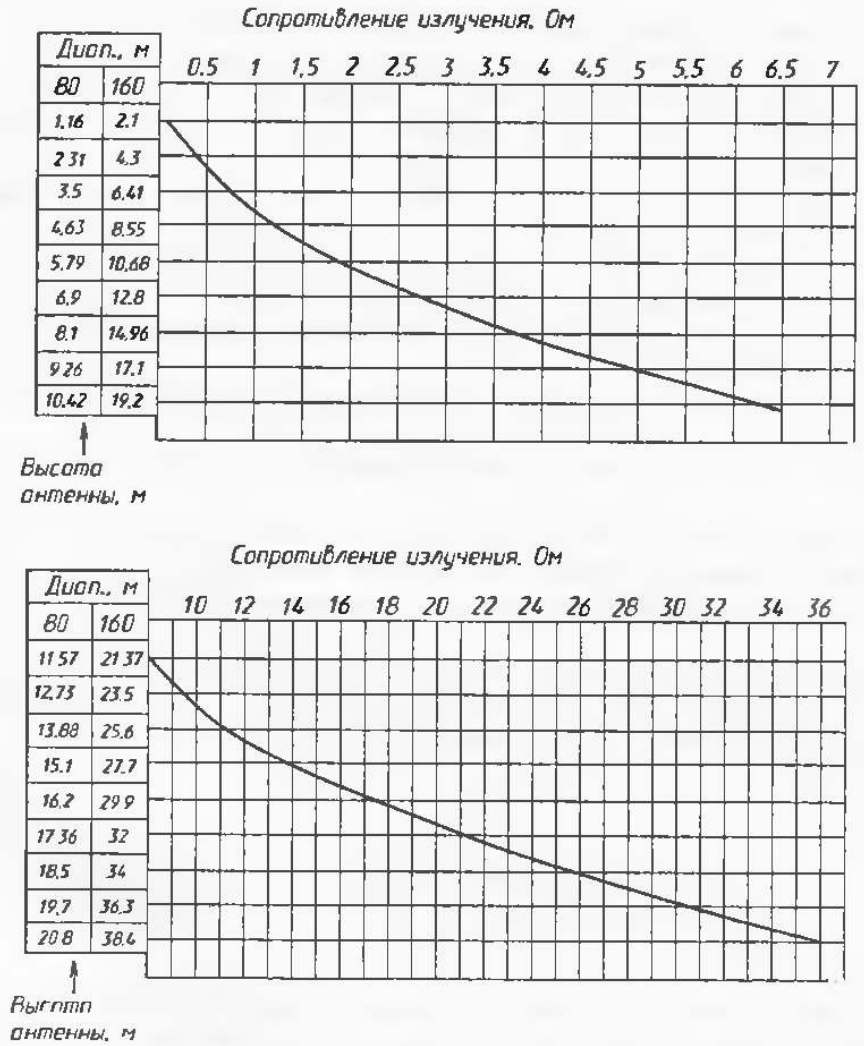


Рис. 3.1. График сопротивления излучения короткого штыря

3.2. Настройка в резонанс коротких вертикальных антенн

В радиолюбительских условиях эффективное использование на передачу электрически короткой антенны без ее настройки в резонанс невозможно. В радиолюбительской практике настройку в резонанс электрически короткой антенны, работающей на нижних

КВ диапазонах, обычно осуществляют комбинированно, с помощью удлиняющей катушки (названа так потому, что как бы «удлиняет» короткую физическую длину вертикальной антенны до необходимой электрической длины, при которой наступает резонанс) и емкостной нагрузки (названа так потому, что увеличивает емкость антенны на землю).

Для того, чтобы электрически короткая антенна была настроена в резонанс, необходимо, чтобы контур, образованный индуктивностью удлиняющей катушки и емкостью антенны, которая складывается из емкости штыря антенны и емкости емкостной нагрузки относительно заземляющей системы антенны, был настроен в резонанс на этих частотах. В практической конструкции укороченной вертикальной антенны удлиняющую катушку располагают как в основании антенны (рис. 3.2), так и в вершине антенны (рис. 3.3).

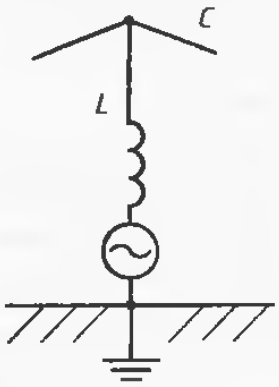


Рис. 3.2. Укороченная вертикальная антенна с удлиняющей катушкой в основании антенны

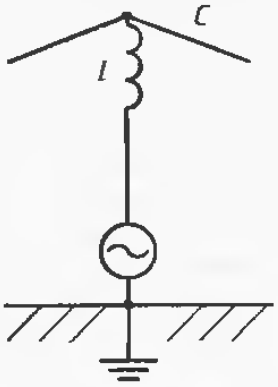


Рис. 3.3. Укороченная вертикальная антенна с удлиняющей катушкой в вершине антенны

Настройка антенны в резонанс осуществляется при помощи изменения индуктивности катушки. По достижении антенной резонанса ее входное сопротивление не содержит реактивных составляющих, а имеет только активное входное сопротивление. Измерять входное сопротивление короткой вертикальной антенны удобно с помощью высокочастотного моста.

3.3. Емкостная нагрузка короткой вертикальной антенны

Для увеличения емкости антенны на «землю» в коротких вертикальных антеннах используют емкостную нагрузку. Обычно она представляет собой от трех до шести проводников длиной от 0,1 до 0,5 от высоты вертикальной части антенны. Проводники емкостной нагрузки подключаются к вершине вертикальной антенны. Они могут быть расположены параллельно к поверхности земли или под небольшим углом к ней (рис. 3.4). Обычно для практической конструкции короткой вертикальной антенны более удобно расположение проводников емкостной нагрузки под небольшим углом к поверхности земли. В этом случае точки крепления оттяжек будут находиться на поверхности земли, что упрощает конструкцию антенны.

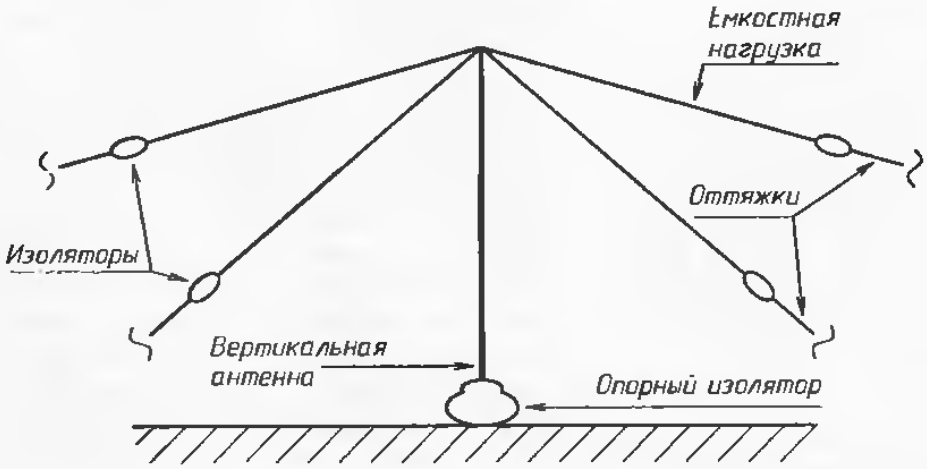


Рис 3.4 Конструкция емкостной нагрузки

Для того, чтобы емкость укороченной вертикальной антенны на землю была постоянной величиной, необходимо соблюдать некоторые условия. Необходимо, чтобы конструкция укороченной вертикальной антенны была механически стабильной и жесткой. Под действием ветра, при перепаде температур не должно происходить существенной деформации конструкции антенны, вследствие которой может произойти изменение величины ее емкости на землю. Другой важный фактор заключается в использовании заземляющей системы антенны с постоянными параметрами.

Конечно, использовать почву в качестве заземляющей системы укороченной вертикальной антенны нельзя. Для заземляющей системы укороченной вертикальной антенны используют противовесы, расположенные под антенной. Чем большее число противовесов для создания заземляющей системы укороченной вертикальной антенны будет использовано и чем эти противоеесы будут длиннее, тем будет лучше качество земли и, следовательно, лучше работа антенны на передачу. Эти противовесы могут лежать на поверхности земли, могут быть закопаны на небольшую глубину в предалах 10...50 см.

Для нормальной работы укороченной вертикальной антенны на передачу необходимо, чтобы число противовесов используемых для создания заземляющей системы укороченной вертикальной антенны, было не менее числа проводников емкостной нагрузки, а длина противовесов была в 1,5 раза больше длины проводников емкостной нагрузки. Обращаю внимание на то, что эту заземляющую систему составляют нерезонансные противовесы, лежащие на земле. Для дальнейшего увеличения эффективности работы укороченной вертикальной антенны и дальнейшего снижения потерь в ее системе заземления желательно использовать хотя бы 2—3 добавочных резонансных противовеса, которые расположены на высоте не менее 1 м от земли.

3.4. Измерение параметров емкостной нагрузки и определение индуктивности удлиняющей катушки

Для расчета параметров удлиняющей катушки для настройки антенны в резонанс необходимо знать емкость укороченной вертикальной антенны относительно ее заземляющей системы. При высоте штыря вертикальной антенны, равной 8—15 метров, и при выполнении емкостной нагрузки согласно изложенным выше ракомендациям емкость укороченной вертикальной антенны относительно ее системы «земли» может находиться в пределах 40...120 пФ. Эта емкость зависит от количества проводников емкостной нагрузки, качества выполнения заземления для реальной антенны, материала, из которого выполнена антенна и ее емкостная нагрузка.

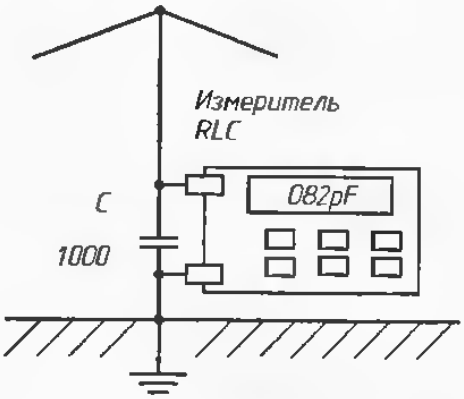


Рис. 3.5. Практическое измерение емкости антенны на землю

Теоретический расчет этой емкости в радиолюбительских условиях достаточно сложен. Однако ее можно измерить практически с помощью обычного RLC-метра. Для этого антенну и ее систему заземления подключают на вход прибора, предназначенного для измерения емкости (рис. 3.5). Обращаю внимание на то, что это должен быть прибор с питанием от батарей. Использование прибора с питанием от сети приведет к увеличению погрешности при этих измерениях. Параллельно антенне и ее системе заземления подключают блокировочный конденсатор емкостью до 1000 пФ. Из результатов измерения емкости антенны емкость блокировочного конденсатора вычитают. Конденсатор особенно необходим, если рядом

с антенной работает мощная радиостанция. В этом случае могут возникнуть трудности при измерении емкости антенны непосредственно прибором из-за большой погрешности его показаний при наличии высокочастотных наводок (проявляется в хаотическом изменении показания емкости антенны). В этом случае для проведения измерения емкости антенны на землю может быть даже придется подождать, когда эта радиостанция будет выключена.

Если в распоряжении радиолюбителя нет измерителя емкости, то для измерения емкости антенны на землю можно воспользоваться методом замещания, который описан на стр.197—198 в [1].

Перед измерением емкости антенны на землю необходимо снять заряд, накопленный вертикальной частью антенны. Для этого антенну в течении нескольких секунд надежно соединяют с ее системой заземления. Измерения емкости антенны необходимо проводить в сухую, безветренную погоду. Емкость антенны необходимо измерять непосредственно на клеммах самой антенны и ее заземления. Необходимо использовать по возможности короткие соединительные проводники от антенны и ее заземления до измерительного прибора. Определив емкость антенны на землю, с помощью графиков, приведенных на рис. 3.6, определяют примерную величину индуктивности удлиняющей катушки антенны, необходимой для настройки антенны в резонанс.

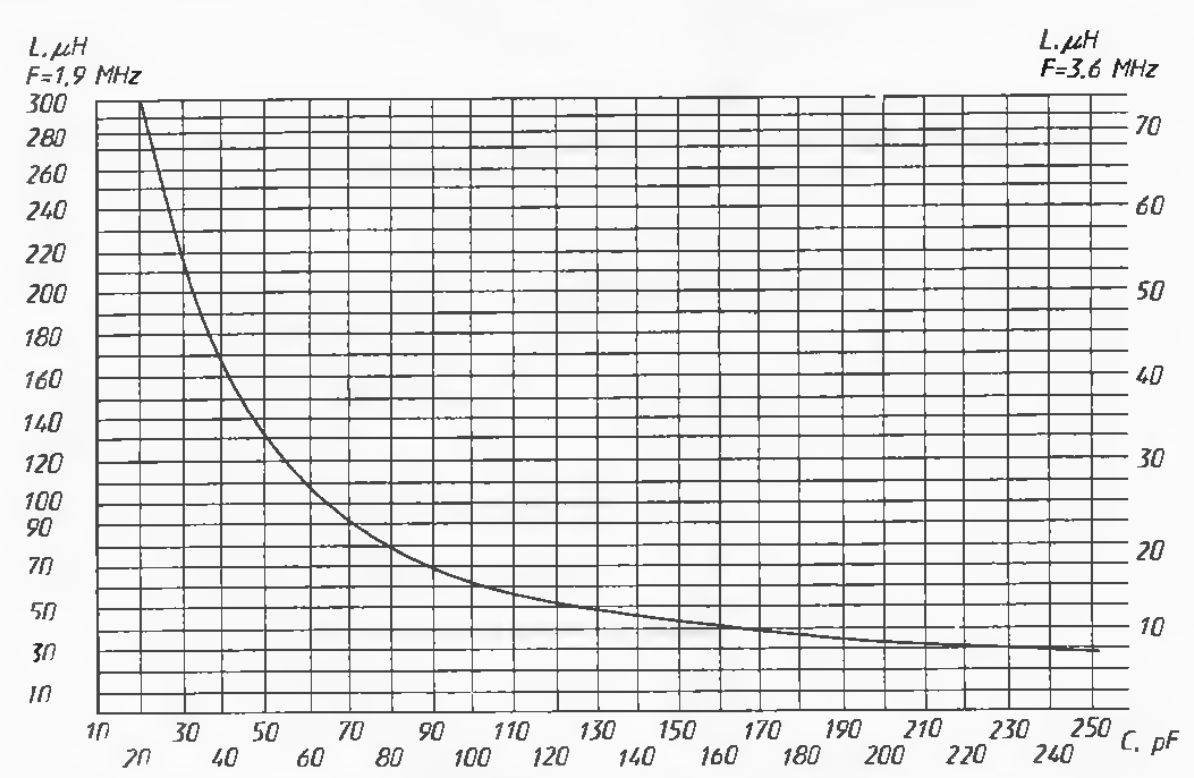


Рис. 3.6. Графики для определения индуктивности удлиняющей катушки

Индуктивность, определенная с помощью этих графиков, будет нуждаться в уменьшении ее величины примерно на 10...20% из-за того, что физическая длина антенны, которая тоже в конечном итоге входит в эту индуктивность, при построении графиков не учитывалась.

3.5. Местоположение удлиняющей катушки на антенне

Для обеспечения максимального КПД работы любой антенны на передечу необходимо обеспечить как можно больший ток проводимости, протекающий по ее полотну. В четвертьволновой вертикальной антенне, которая является модалью уко-

роченной вертикальной антенны (рис. 3.2 и рис. 3.3), пучность тока находится в основании антенны. Распределение тока в укороченной вертикальной антенне с удлиняющей катушкой на ее вершине показано на рис. 3.7, распределение тока в укороченной вертикальной антенне с катушкой в ее основании показано на рис. 3.8.

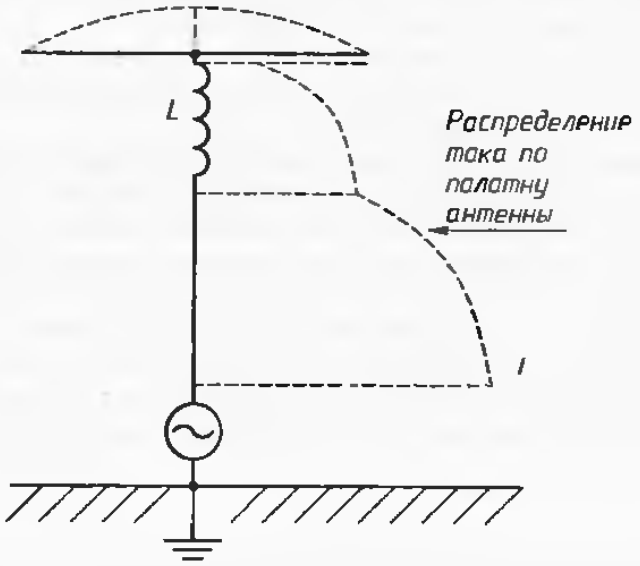


Рис. 3.7. Распределение тока в укороченной вертикальной антенне с удлиняющей катушкой в ее вершине

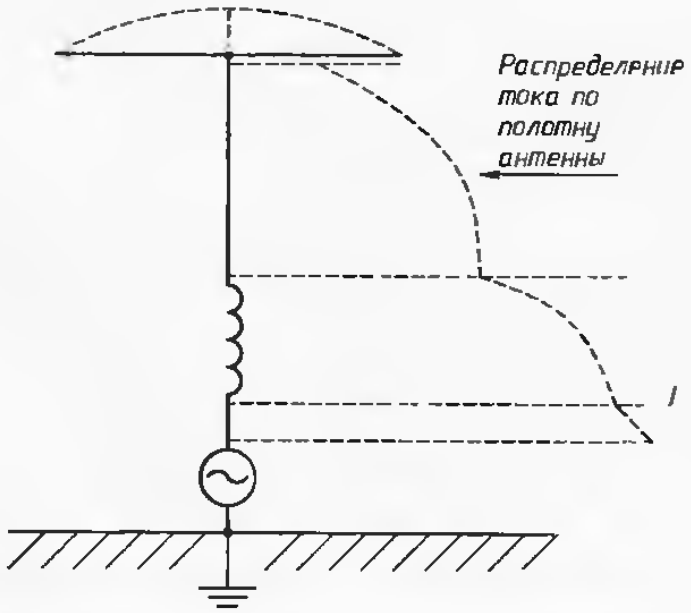


Рис. 3.8. Распределение тока в укороченной вертикальной антенне с удлиняющей катушкой в основании антенны

Как видно из этих рисунков, максимальная площадь тока будет только в укороченной вертикальной антенне с удлиняющей катушкой, расположенной в вершине антенны. Следовательно, эта конструкция укороченной вертикальной антенны обеспечит наибольшую эффективность работы. Однако в реальных любительских условиях такую конструкцию укороченной вертикальной антенны используют нечасто. Это связано с тем, что в процессе настройки антенны может возникнуть необходимость в осуществлении регулировки индуктивности удлиняю-

щей катушки, а это трудно при ее размещении в вершине антенны. Другой фактор состоит в том, что удлиняющая катушка для диапазонов 80 и 160 метров, особенно выполненная качественно, т. е. из толстого медного провода диаметром 1—3 мм, имеет большие габариты и вес. Это затрудняет размещение физически большой и тяжелой удлиняющей катушки на вершине антенны.

Оптимальный вариант при построении укороченной вертикальной антенны заключается в размещении в вершине антенны удлиняющей катушки *L1*, имеющей индуктивность величиной примерно 0,7 от общего расчетного значения. Настройка укороченной вертикальной антенны в этом случае осуществляется с помощью катушки переменной индуктивности *L2*, имеющей небольшую величину (не более 0,3 от расчетного значения) и расположенной в основании антенны. Конструкция такой антенны показана на рис. 3.9. Этот вариант построения вертикальной укороченной антенны для низкочастотных диапазонов можно считать одним из оптимальных.

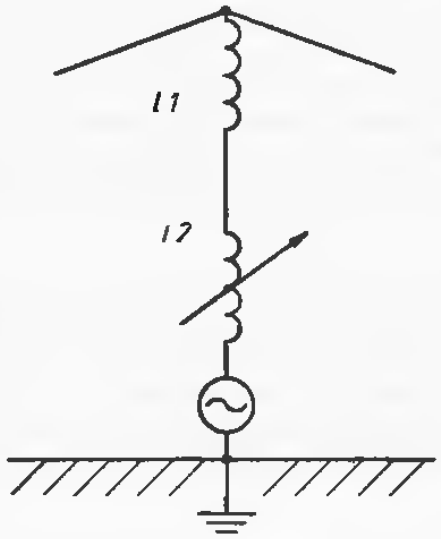


Рис. 3.9. Вертикальная укороченная антенна с двумя удлиняющими катушками

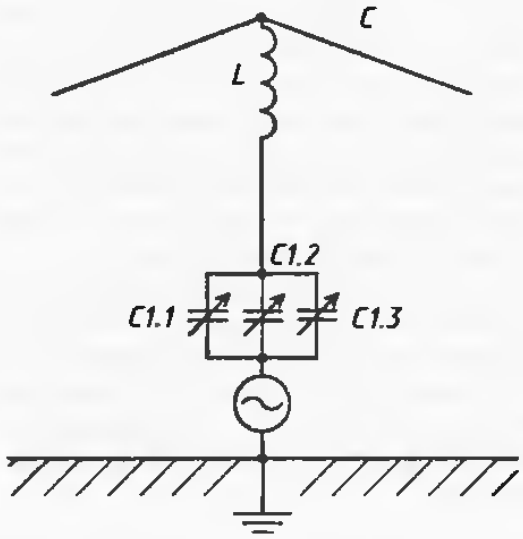


Рис. 3.10. Настройка укороченной вертикальной антенны при помощи конденсатора переменной емкости

3.6. Настройка антенны с помощью переменного конденсатора

Использование для настройки укороченной вертикальной антенны катушки переменной индуктивности небольшой величины, расположенной в основании антенны, как показано на рис. 3.9, не всегда является возможным в радиолюбительских условиях. Катушка переменной индуктивности обычно представляет собой сложную в исполнении и громоздкую конструкцию. Стоимость катушки переменной индуктивности промышленного изготовления также относительно велика. Значительно удешевить и упростить конструкцию вертикальной укороченной антенны можно используя для ее настройки в резонанс конденсатор переменной емкости, расположенный в основании антенны, как показано на рис. 3.10.

Для этой схемы настройки укороченной вертикальной антенны величина удлиняющей катушки выбирается немного большей расчетной величины. В любом случае во время первоначальной настройки антенны в резонанс, возможно, придется использовать настройку антенны с помощью изменения индуктивности удлиняющей катушки. Для окончательной настройки антенны в резонанс можно использовать трехсекционный конденсатор переменной емкости от старого лампового приемника, в котором все три секции включены параллельно

Поскольку обычно трехсекционные конденсаторы имеют конструктивно встроенный верньер с замедлением 1:3, то настройка короткой вертикальной антенны с помощью переменного конденсатора существенно упрощается. В этой схеме настройки конденсатор находится под небольшим высокочастотным напряжением. Однако высокочастотный ток, протекающий через конденсатор, имеет значительную величину. До уровня мощности не более 200 Вт, подводимой к антенне, можно использовать обычные трехсекционные конденсаторы от старых ламповых радиоприемников. Для снижения потерь в конденсаторе желательно исключить трущийся контакт между ротором конденсатора и его токосъемником. Для этого необходимо подпаять проводник, идущий от антенны к конденсатору, непосредственно к ротору конденсатора, а не к токосъемнику.

3.7. Подстройка антенны в процессе работы

Если в процессе эксплуатации антенны ее резонансная частота вышла за пределы любительского диапазона, то антенную систему необходимо подстроить. Выход резонансной частоты возможен за счет изменения емкости между полотном антенны и ее заземляющей системой. Это изменение емкости может быть обусловлено установкой новых антенн непосредственно около укороченной вертикальной антенны, ухудшением качества заземляющей системы антенны, которое может быть вызвано коррозией системы противовесов. Возможны и другие факторы, влияющие на изменение емкости антенны, в том числе имеющие периодический сезонный характер.

В этом случае нецелесообразно каждый раз подстраивать удлиняющую катушку, установленную в вершине антенны или в основании антенны. Во-первых, это относительно сложно, а во-вторых, возможно, будут устранены факторы, влияющие на антенну, и ее параметры вернутся к прежним. Использование конденсатора переменной емкости, расположенного в основании укороченной вертикальной антенны, в этом случае оптимально для оперативной подстройки такой антенной системы.

3.8. Согласование укороченной вертикальной антенны с коаксиальным кабелем

После настройки укороченной вертикальной антенны в резонанс при помощи удлиняющей катушки необходимо измерить входное сопротивление антенной системы. Это можно сделать при помощи высокочастотного мостового измерителя сопротивления. Входное сопротивление укороченной вертикальной антенны складывается:

— из сопротивления излучения ее вертикальной части $R_{изл}$, которое можно определить по графикам на рис. 3.1;

— из сопротивления излучения ее горизонтальной части, которое можно принять примерно равным сопротивлению излучения вертикальной части антенны $R_{изл}$;

— из сопротивления потерь, которое включает в себя активное сопротивление потерь в материале антенны, в удлиняющей катушке и в заземляющей системе антенны.

Чем ближе практически измеренное входное сопротивление короткой вертикальной антенны к ее расчетному значению, тем меньше сопротивление потерь в материале антенны, в удлиняющей катушке и в ее заземляющей системе и, следовательно, тем выше КПД работы антенны.

Как показывает опыт, практически измеренное входное сопротиаление укороченных вертикальных антенн низкочастотных диапазонов с удлиняющей катушкой и емкостной нагрузкой может находиться в пределах 10...20 Ом. Это относительно низкое входное сопротивление антенны необходимо согласоввть с относительно

высоким волновым сопротивлвнивм коаксиального кабеля, равным 50 или 75 Ом. Сделать это вполне можно, используя известные методы согласования, например приведенные в главе 7. Согласующая цепь в этом случав располагается в основании антенны.

В некоторых случаях, когда для питания вертикальной короткой антенны используется коаксиальный кабель, обладающий небольшими потерями и длиной не более четверти длины волны, можно обойтись без использования дополнительных согласующих устройств между антенной и кабелвм. Но в этом случае трансивер или усилитель мощности должен выдерживать работу с повышенным значением КСВ.

3.9. Вертикальная антенна с емкостной нагрузкой для работы в нескольких диапазонах

Многие радиолюбители считают нецелесообразным использовать вертикальную антенну с емкостной нагрузкой для работы только на одном любительском диапазоне. Действительно, для установки такой антенны затрачивается много материалов, средств и сил. Поэтому вполне оправдано желание радиолюбителя заставить ее работать на нескольких любительских диапазонах. Настроить еертикальную антенну с емкостной нагрузкой для работы на нескольких любительских диапазонах (обычно это 40, 80 и 160 метров) можно с помощью переключаемого около антенны согласующаго устройства.

Обычно чистый резонанс вертикальной антенны с емкостной нагрузкой, предназначенной для работы на 160 или 80 метрое, лежит ниже любительского диапазона 40 метров. Следовательно, для настройки антенны в резонанс на диапазон 40 метров используют укорачивающий конденсатор. Для настройки антенны в резонанс на диапазоны 80 и 160 метров используют удлиняющую катушку. Переключение согласующих цепей производится в основании антенны или с помощью высокочастотных реле, или галетным переключателем. Схема настройки в резонанс антенны для работы на трех диапазонах показана на рис. 3.11.

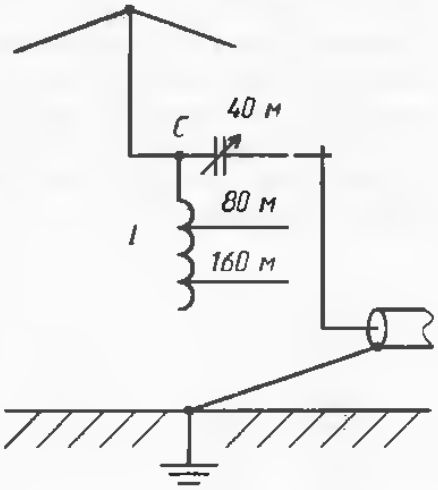


Рис. 3.11. Настройки в резонанс вертикальной антенны с емкостной нагрузкой для работы на трех диапазонах

Для питания антенны, показанной на рис. 3.11, можно использовать коаксиальный кабель, имеющий волновое сопротиаление 50 или 75 Ом и электрическую длину $\lambda/2$ для нижнего диапазона работы антенны.

При использовании коротких вертикальных антенн в трех диапазонах желательно применять не менее трех четаертьволновых резонансных противовесов для каждого диапазона работы антенны. Вследствие высокой добротности катушки, включаемой в антенну, полоса пропускания укороченной антенны может быть ýже любительского диапазона. В этом случае антенну настраивают на тот участок диапазона, где предполагается более частая работа в эфире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт, 2002 — 272 с. — ISBN 5-93037-087-7

4. АНТЕННЫ ИЗ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Коаксиальный кабель широко используется радиолюбителями для питания антенн. В результате этого в хозяйстве радиолюбителя со временем накапливается множество отрезков коаксиального кабеля. Для питания антенн эти куски могут быть слишком коротки, а использовать кабель, имеющий несколько скруток, нецелесообразно.

Но из отрезков коаксиального кабеля длиной 2—5 м можно построить радиолюбительские антенны.

Коаксиальный кабель имеет преимущества перад медным проводом такой же толщины, как и коаксиальный кабель. Кабель дешевле, легче, чем медный провод, обладает достаточной для построения антенн механической прочностью, экран кабеля можно паять паяльником небольшой мощности, оболочка кабеля позволяет сохранять кабель, находящийся под воздействием атмосферных условий, работоспособным в течение многих лет. Короткие отрезки коаксиального кабеля можно также недорого приобрести на «развалах» радиорынков.

4.1. Дипольная коаксиальная антенна

Наиболее простая антенна, которую можно выполнить из коаксиального кабеля, — это обычный вертикальный или горизонтальный диполь (рис. 4.1). Для питания этой антенны можно использовать коаксивльный кабель с волновым сопротивлением 75 или в крайнем случае 50 Ом. В табл. 4.1 приведены значения длин плеч диполя для любительских диапазонов 2—20 метров. Вследствие относительно большой толщины коаксиального кабеля, из которого выполнена эта антенна, она обладает достаточно большой широкополостностью как на любительских КВ—УКВ диапазонах, так и на гражданском СВ диапазоне. Поэтому при точном соблюдении размеров, указанных в табл. 4.1, антенна не требует настройки.

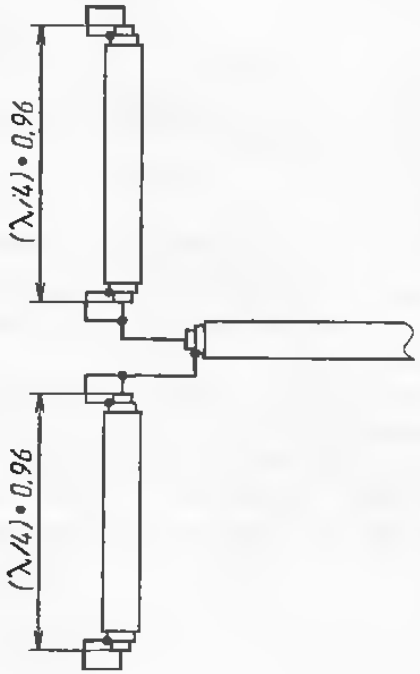


Рис. 4.1. Простая дипольная антенна из коаксиального кабеля

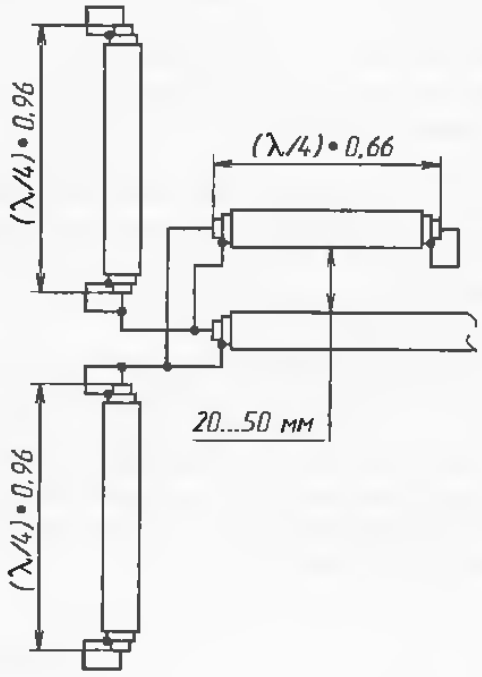


Рис. 4.2. Конструкция простого симметрирующего устройства

Таблица 4.1

Длины плеч диполя для любительских диапазонов 2—20 метров

Диапазон, м	Длина вибратора, см
20	506
17	398
15	336
12	294
11	260
10	252
6	141
2	49

Таблица 4.2

Длины симметрирующего устройства на разные диапазоны

Диапазон, м	Длина симметрирующего устройства с учетом коэффициента укорочения (К=0,66), см
20	348
17	274
15	231
12	202
11	178
10	174
6	94
2	34

Антенна, выполненная согласно рис. 4.1, является симметричной антенной независимо от ее подвеса — вертикального или горизонтального. Оптимальным вариантом питания такой антенны будет питание через симметрирующее устройство. Его можно выполнить из того же коаксиального кабеля, из которого выполнена антенна. Конструкция простого симметрирующего устройства показана на рис. 4.2. В табл. 4.2 приведены длины симметрирующего устройства для работы в диапазонах 2—20 метров. Длины отрезков кабеля симметрирующего устройства указаны для коаксиального кабеля с полиэтиленовым заполнением и коэффициентом укорочения, равным 0,66. Это симметрирующее устройство можно использовать и для питания дипольных антенн, полотно которых выполнено из обычного провода.

4.2. Резонаторная дипольная антенна

Более эффективную резонаторную дипольную антенну на основе коаксиального кабеля можно построить согласно рис. 4.3.

Резонаторная дипольная антенна представляет собой вариант обыкновенного петлевого диполя, выполненного на основе коаксиального кабеля. Первые упоминания об этой антенне найдены мной в литературе по антеннам, изданной в 50-х годах. Как и для многих других антенн, для этой антенны невозможно точно указать имя ее изобретателя. Очевидно, с распространением коаксиального кабеля она была изобретена практически одновременно и независимо в разных странах. Резонаторная антенна иногда используется как составная часть некоторых сложных антенн УКВ и СВЧ диапазона. В радиолюбительской практике резонаторный диполь применяется редко, но все же иногда встречаются публикации, посвященные этой антенне, например в [1] и [2]. Очень полная и интересная статья, посвященная резонаторным антеннам, опубликована в [3]. Теперь разберем простейшую резонаторную антенну.

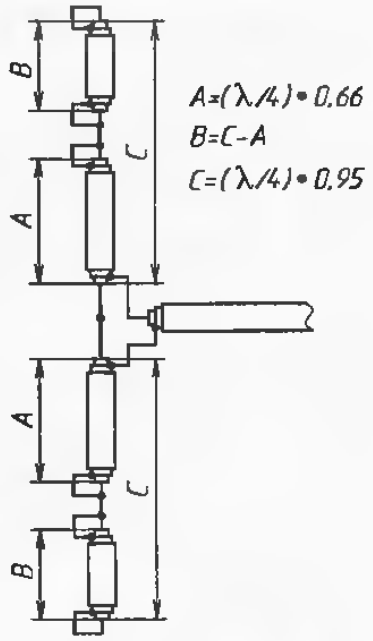


Рис. 4.3. Резонаторная дипольная антенна

Резонаторная дипольная антенна работает как обычный классический петлевой диполь. Длина плеч антенны С составляет четверть длины волны с учетом коэффициента укорочения 0,95. Длина плеч антенны *А* составляет четверть длины волны в коаксиальном кабеле. Отрезки *В*, выполненные из короткозамкнутых отрезков коаксиального кабеля, удлиняют длину плеч антенны *А* до четвертьволновой. Отрезки *В* могут быть выполнены из отрезков медного проводв.

Таблица 4.3

Размеры резонаторной дипольной антенны

Диапазон, м	А, см	В, см	С, см
20	348	158	506
17	274	124	398
15	231	105	336
12	202	92	294
11	178	81	259
10	174	78	252
6	97	44	141
2	34	15	49

Полоса пропускания резонаторной антенны шире полосы пропускания классического диполя примерно в 2 раза. Входное сопротивление резонаторного диполя примерно равно волновому сопротивлению коаксиального кабеля, из которого он выполнен. Это позволяет использовать для его питания коаксиальный кабель, из которого изготовлена антенна, что еще более повышает ее универсальность.

Резонаторная дипольная антенна представляет собой симметричную антенну, и для ее питания целесообразно использовать симметрирующее устройство, показанное на рис. 4.2. Размеры резонаторной дипольной антенны для работы в диапазонах 2—20 метров для коаксиального кабеля с коэффициентом укорочения 0,66 приведены в табл. 4.3. В резонаторной антеннв полотно антенны замкнуто на оплетку коаксиального кабеля, что обеспечивает сток статических зарядов с антенны на землю и обеспечивает бвзопасность при работе антенны в грозовой и предгрозовой период.

4.3. Несимметричные вертикальные антенны на основе коаксиального кабеля

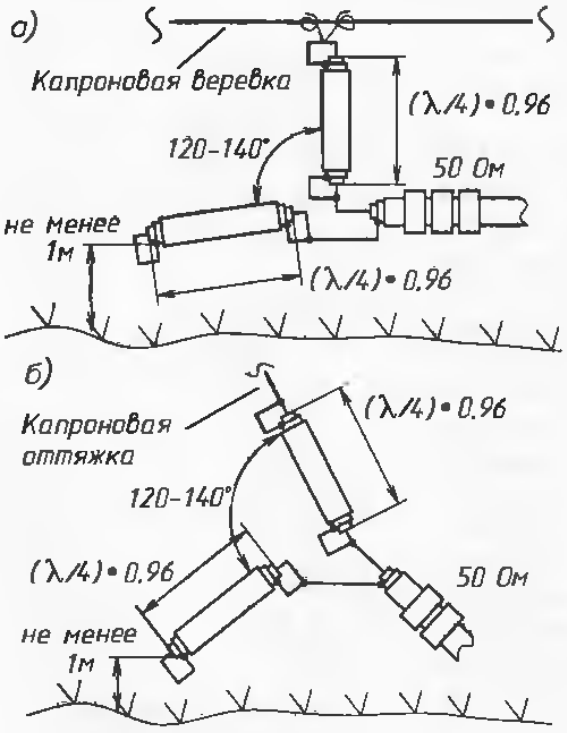


Рис. 4.4. Несимметричная антенна из коаксиального кабеля

На основе коаксиального кабеля можно построить несимметричные вертикальные антенны. Несимметричная вертикальная антенна отличается от симметричной тем, что одно ее плечо (или ее часть) выполнено отличным образом от другой части, или тем, что на одну из ве частвй проявление влияния посторонних предметов будет гораздо выше, чем на другую. Естественно, бессмысленно использовать симметрирующее устройство с несимметричными антеннами, но высокочастотный дроссель из 10—20 ферритовых колец, надетых на коаксиальный кабель в точке питания антенны, улучшит работу антенны.

Наиболее просто выполнить несимметричную антенну из коаксиального кабеля, как показано на рис. 4.4. Вертикальная часть антенны с помощью капроновой веревки может быть подвешена вертикально между естественными опорами — деревьями, мачтами, нв которых могут быть установлены другие антенны (рис. 4.4,а), или подвешена наклонно с

помощью капронового шнура к одной из опор (рис. 4.4,б). Нижний конец противовеса штыревой антенны, выполнвнный из коаксиального кабеля, может находиться на расстоянии не менее 1 м над землей. Вертикальная антенна из коаксиального кабеля с одним противовесом, расположенным под углом 120...140° к штырю, имеет сопротивление, близкое к 50 Ом. Для питания и выполнения этой антенны подойдет коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Для ввртикальной антенны противовес целесообразно выполнить, как показано на рис. 4.5. В данном случае противовес выполнен из четвертьволнового изолятора — резонатора *А*, который удлинен до резонансной частоты, необходимой для работы противовеса отрезком *В*. Отрезок *В* может быть выполнен как из коаксиального кабеля, так и из медного провода. Длина частей *А* и *В* резонаторного противовеса аналогична частям *А* и *В* резонаторной антенны (рис. 4.3), и для нахождения их размеров можно воспользоваться табл. 4.3.

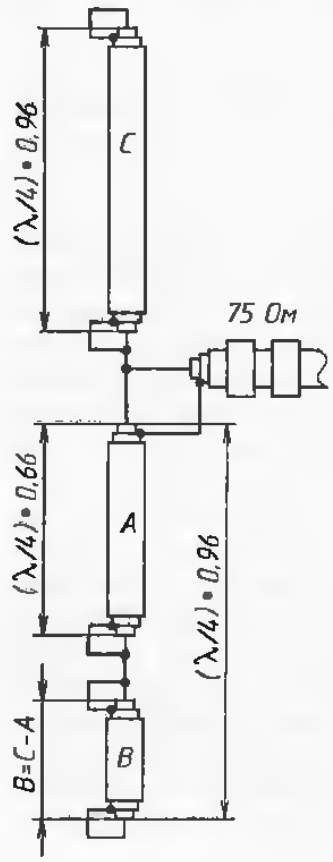


Рис. 4.5. Противовес для несимметричной антенны из коаксиального кабеля

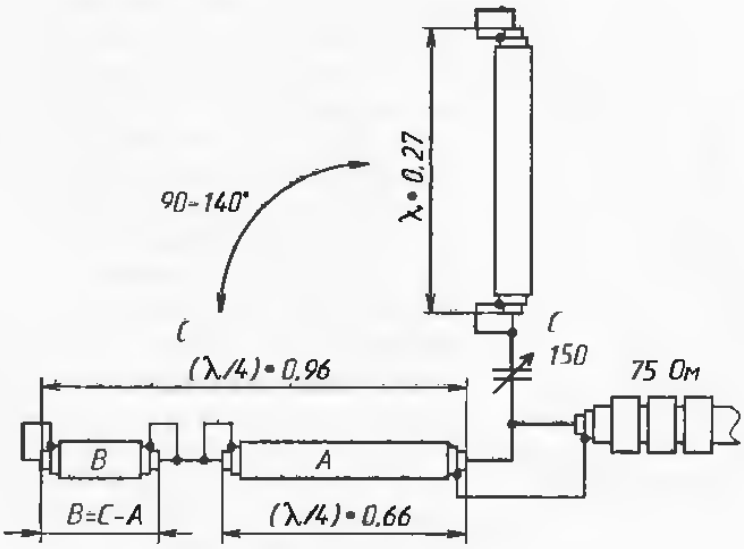


Рис. 4.6. Питание вертикальной антенны коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом

Вертикальная антенна из коаксиального кабеля с четвертьволновым резонатором в противовесе имеет преимущества перед вертикальной антенной с обычными протиаовесами. Полотно антенны электрически замкнуто, что делает антенну безопасной при работе в грозовой период, четвертьволновый резонатор имеет малое сопротивление для нерезонансных частот, а это обеспечивает дополнительную частотную селекцию при приеме и фильтрацию гармоник передатчика в антенной системе при работе антенны на передачу.

При использоаании для питания антенны коаксивльного кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом вибратор антенны и противовес должны находиться под углом 180°, как это показано на рис. 4.7. Если возможно только наклонное расположение противовеса относительно вертикального вибратора, то можно исполь-

зовать согласование антенны с помощью укорачивающего конденсатора. Для этого длина вертикальной части антенны выбирается равной примерно 0,27 длины волны и с помощью переменного конденсатора максимальной емкостью 150 пФ производится согласование входного сопротивления антенны с волновым сопротивлением коаксиального кабеля (рис. 4.6). Противовес в этом случае может располагаться наклонно относительно штыря под углом 90...140°.

4.4. Простая несимметричная антенна

На основе коаксиального кабеля можно выполнить очень простую несимметричную антенну. Впервые в радиолюбительской литературе она, очевидно, была описана радиолюбителем с позывным W6SAI в 1956 году. Это показывает, что в те, уже далекие для нас времена, радиолюбители широко экспериментировали с антеннами на основе коаксиального кабеля. Среди радиолюбителей эта антенна получила жаргонное название *Slim cobra*.

Различные модификации этой антенны время от времени появляются в радиолюбительской литературе (см., например, [4]). Это чисто радиолюбительская антенна, по крайней мере, мне не попадались упоминания об ее использовании в профессиональной радиосвязи.

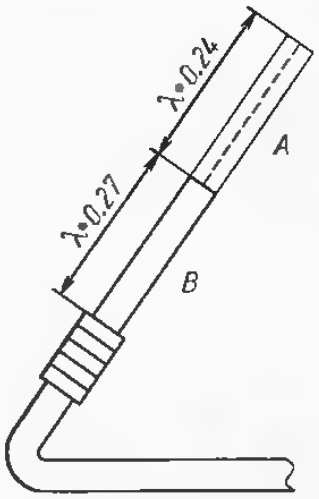


Рис. 4.7. Классическая антенна W6SA1

Рассмотрим классическую антенну W6SAI, показанную на рис. 4.7. Эта антенна выполнена полностью из коаксивльного кабеля. На длине кабеля 0,24λ от вершины антенны снята экранирующая оболочка коаксиального кабеля. Это излучающая часть антенны. На расстоянии 0,27l от излучающей части на экранирующей оболочке коаксиального кабеля антенны выполнен высокочастотный дроссель. Он состоит из 10—20 ферритовых колец. Кольца можно закрепить на коаксиальном кабеле с помощью изоленты. Проницаемость колец некритична.

Такой высокочастотный дроссель может обеспечить работу антенны при подводимых к ней мощностях до 200 Вт. При превышении указанной здесь мощности ферритовые кольца могут перегреться и рассыпаться, оплавив при этом коаксиальный кабель. В итоге антенна может выйти из строя. Если предполагается работать с использованием больших мощностей, то дроссель целесообразно выполнить бескаркасным, намотав 20—30 витков этого же коаксиального кабеля на оправку диаметром 30...60 мм. Но, конечно, такой дроссель более громоздок, чем выполненный на основе ферритовых колец.

Опытным путем найдено, что минимальный КСВ антенны при использовании 50-омного кабеля для ее выполнения достигается при расположении дросселя на расстоянии 0,27λ и длине вибратора антенны 0,24λ.

Антенна может быть использована для работы в полевых условиях, ее легко установить в качестве вспомогательной антенны, просто «бросив» коаксиальный кабель с окна верхнего этажа на дерево или другой дом. Антенна не нуждается в настройке. В табл. 4.4. приведены размеры антенн для работы в диапазонах 2—40 метров.

Таблица 4.4

Размеры классической антенны W6SAI

Диапазон, м	А, см	В, см
40	1014	1096
30	707	764
20	506	547
17	395	426
15	331	390
12	294	324
11	252	280
10	249	275
6	138	152
2	49	53

4.5. J-антенна из коаксиального кабеля

J-антенна, построенная на основе двухпроводной линии передачи, широко известна и популярна среди радиолюбителей. Но такую антенну можно выполнить на основе коаксиального кабеля. Коаксиальная J-антенна показана на рис. 4.8. В этой антенне излучающий вибратор имеет размеры λ/2.

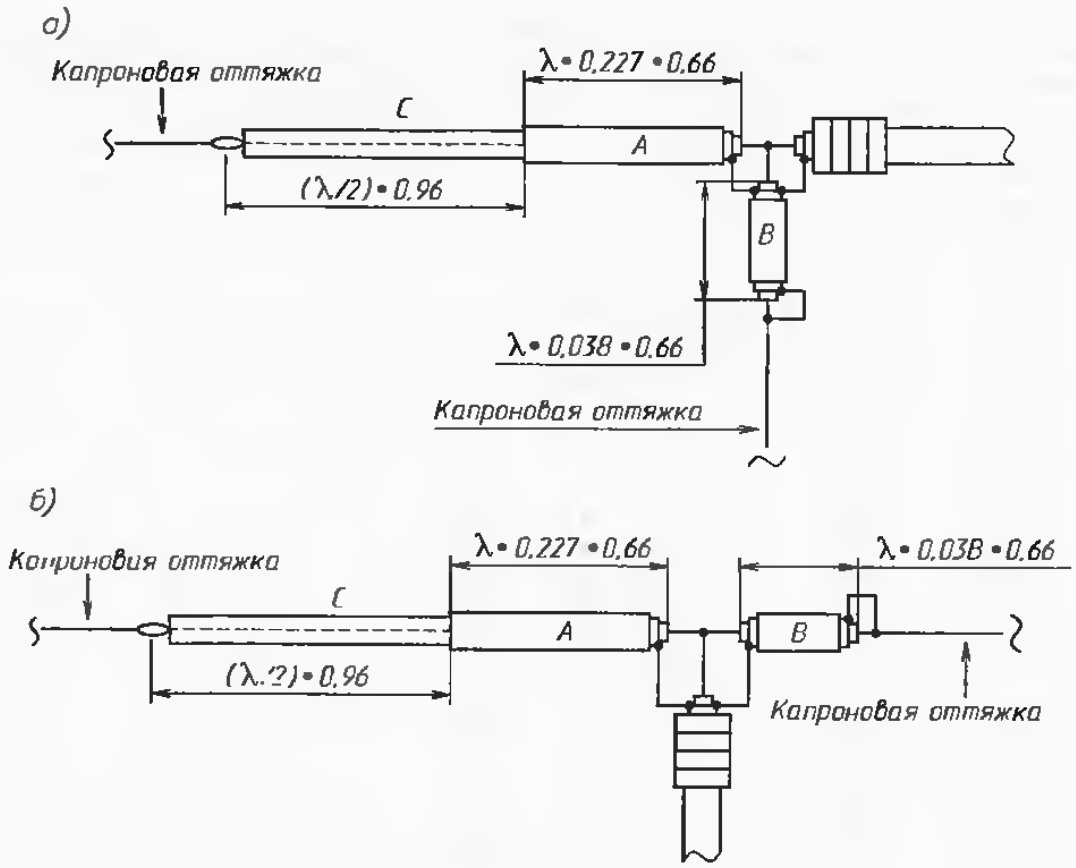


Рис. 4.8 Коаксиальная J-антенна

Входное сопротивление полуволнового вибратора при его концевом питании может составлять на низкочастотных диапазонах несколько тысяч ом. Поэтому для питания полуволновой антенны используют четвертьволновый коаксиальный разонатор, выполненный из того же коаксиального кабеля, из которого сделана антенна. Подробно о J-антеннах написано в главе 18.

При использовании коаксиального кабеля одного типа для выполнения J-антенны с резонатором и для ее фидера эту антенну можно выполнить сразу согласно размерам, приведенным на рис. 4.8. Можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. В том случае антенна трабует минимальной настройки. В табл. 4.5 приведены размеры коаксиальной J-антенны для работы на диапазонах 2—160 метров, выполненной из кабеля с коэффициентом укорочения, равным 0,66. Размеры антенны рассчитаны при помощи программы, предложенной Ю. Никитиным, RA9LO, в [5]. При расчете антенны предполагается, что сопротивление полуволнового излучателя равно 1000 Ом. Желательно, но не обязательно, чтобы часть В была перпендикулярна линии питания, как это показано на рис. 4.8. Антенну растягивают в пространстве с помощью капроновых шнуров, что требует, по крайней мере, две оттяжки для установки антенны. При выполнении антенны для ВЧ диапазонов 2—15 метров можно произвести механическое закрепле-

ние части В перпендикулярно относительно антенны, что позволит использовать для подвеса антенны всего одну оттяжку. Эту антенну удобно использовать в полевых условиях или при ограниченных возможностях для установки других типов антенн.

Таблица 4.5

Размеры *А*, *В*, *С* коаксиальной J-антенны на диапазонах 2—160 метров

Диапазон, м (частота, МГц)	*А*, м, при выполнении из кабеля 50 Ом (из кабеля 75 Ом)	*В*, м, при выполнении из кабеля 50 Ом, (из кабеля 75 Ом)	С, м, при выполнении вибратора антенны из коаксиального кабеля со снятой оплеткой	*С*, м, полуволновая длина при выполнении вибратора антенны из провода диаметром 1..3 мм	С, м, волновая длина при выполнении вибратора антенны из провода диаметром 1. 3 мм
160 (1,9)	22,4 (21,62)	3,83 (4,77)	71,04	75	153,95
80 (3,6)	11,82 (11,41)	2,02 (2,52)	37,49	39.583	81.250
40 (7,05)	6,04 (5,83)	1,03 (1,19)	19,16	20,213	41,489
30 (10,1)	4,21 (4,07)	0,724 (0,9)	13,36	14,109	28,960
20 (14,2)	3,0 (2,89)	0,51 (0,84)	9,5	10,035	20,59
17 (18,2)	2,34 (2,26)	0,4 (0,5)	7,39	7,83	16,071
15 (21,2)	2,01 (1,94)	0,34 (0,43)	6,354	6,722	13,797
12 (25,0)	1,7 (1.64)	0,29 (0.36)	5,4	5,7	11.7
11 (27,2)	1,56 (1,51)	0,27 (0,33)	4,95	5,239	10,754
10 (28,5)	1,49 (1,44)	0,26 (0,32)	4,725	5,0	10,263
6 (51,0)	0,83 (0,81)	0,14 (0,18)	2,648	2,794	5,735
2 (145,6)	0,29 (0,28)	0,05 (0,05)	0,92	0,979	2.01

При большом КСВ в фидере питания антенны подбирают длины частей *А* и *В*. Повышенный КСВ е фидере питания антенны может быть при выполнении коаксиальной J-антенны из некачественного кабеля, коэффициент укорочения которого не равен 0,66, при подвесе антенны в окружении проводящих прадметов.

Поскольку четвертьволновый резонатор, через который питается полуволновой вибратор, замкнут, эта антенна не накапливает статического электричества. За счет четвертьволнового резонатора обеспечивается дополнительная избирательность антенны при работе на прием и фильтрация гармоник передатчика при работе на передечу. Длина вибратора коаксиальной J-антенны может быть кратна половине длины волны работы антенны.

На коаксиальном кабеле питания желательно выполнить высокочастотный дроссель из 10—20 фврритовых колец сразу в месте подключения кабеля к четвертьволновому резонатору (рис. 4.8). Это улучшит работу антенной системы.

Резонаторная коаксиальная J-антенна иногда используется как составная часть сложных антенн КВ, УКВ, СВЧ диапазоноа профессионального применения — радиосвязи, радиолокации. В отечественной радиолюбительской литературе J-антенна из коаксиального кабеля была описана в [6].

4.6. Двухдиапазонная резонаторная дипольная антенна из коаксиального кабеля

Достаточно прост в построении двухдиапазонный резонаторный диполь из коаксиального кабеля. Его конструкция показана на рис. 4.9.

Общая длина плеча диполя равна примерно четверти волны нижнего диапазона работы антенны. При работе антенны на верхнем диапазоне работает часть *А*. Четвертьволновый резонатор *В* в этом случае отключает удлиняющую часть *С*, работающую на низкочастотных диапазонах.

Настройка антенны достаточно трудоемка. Первоначально настраивают антенну при работе ее в верхнем диапазоне. Этого достигают подбором длины части *А*. Подбором длины *С* настраивают антенну в резонанс на нижнем диапазоне работы антенны. Длины частей антенны показаны на рис. 4.9. Размеры С могут отличаться от приведенных здесь в сторону увеличения. Для определения длин частей *А* и *В* можно воспользоваться табл. 4.3.

Хотя теоретически на таком принципе можно создать антенны для трех и более диапазонов, на практике они применяются редко из-за сложностей при их настройке. Обычно встречаются описания антенн, построенных по такому принципу, на кратные диапазоны 10/20, 20/40 метров.

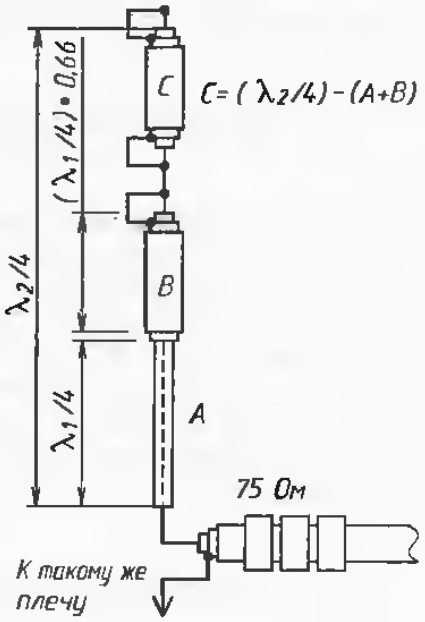


Рис. 4.9. Двухдиапазонный резонаторный диполь из коаксиального кабеля

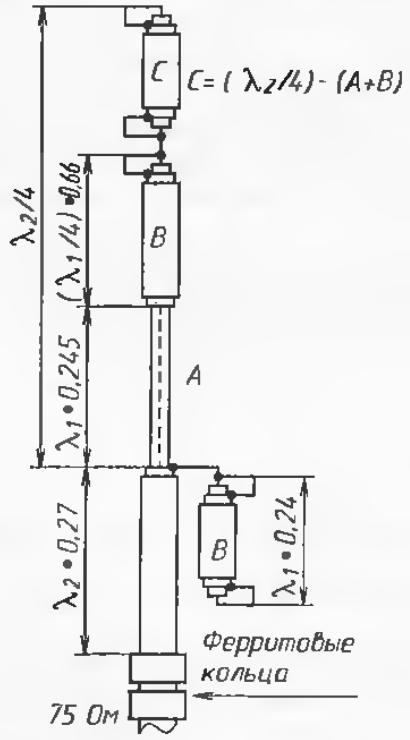


Рис. 4.10. Двухдиапазонная резонаторная вертикальная антенна из коаксиального кабеля

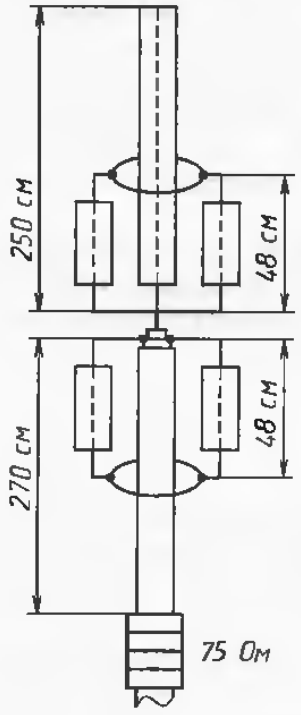


Рис. 4.11. Простая вертикальная антенна из коаксиального кабеля для работы на 2 и 10 метрах

Для питания этой антенны используется 75-омный коаксиальный кабель. Антенна симметричная, поэтому желательно совместно с ней использовать симметрирующее устройство (см. рис. 4.9) или хотя бы 10—20 ферритовых колец, недетых на коаксиальный кабель в месте питания антанны.

4.7. Двухдиапазонная резонаторная вертикальная антенна из коаксиального кабеля

Можно построить несимметричную двухдиапазонную резонаторную вертикальную антенну из коаксиального кабеля, используя описанный выше принцип включения в полотно антенны четвертьволнового разонатора. Конструкция такой антенны показана на рис. 4.10. Верхняя часть антенны выполнена по размерам, указанными на рис. 4.9, четвертьволновый противовес для верхнего диапазона выполнен отдельно, а противовесом для нижнего диапазона яаляется оплетка коаксиального кабеля, на которую на расстоянии 0,27λ надеты 10 ферритовых колец. Предпочтительно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом.

4.8. Простая вертикальная на диапазонах 2/10 м антенна из коаксиального кабеля

Достаточно простую вертикальную антенну из коаксиального кабеля для работы на любительских диапазонах 2 и 10 метров можно выполнить согласно рис. 4.11.

Антенна для работы на диапазоне 2 метра представляет собой широкополосный вибратор, образованный четырьмя проводниками. Физически они выполнены из коаксиального кабеля, с которого снята оплетка. Вибраторы антенны и противовесы спаяны между собой для расширения широкополосности антенны. Вибратор на диапазон 10 метров также еыполнен из коаксиального кабеля со снятой изоляцией. Противовесом при работе на 10 метрах служит оплетка кабеля, на которую на расстоянии 2,7 мвтра от вибратора надеты 5 ферритовых колец. Для увеличения механической прочности антенны вибраторы и противовесы диапазона 2 метра замотаны изолентой совместно с коаксиальным кабелем.

Возможно, придется подобрать длину вибратора в диапазоне 10 метроа для достижения минимального КСВ. Для выполнения антенн, показанных на рис. 4.9—4.11, можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротиалением 50 или 75 Ом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krischke Alois. Rothammels Antennenbuch. — Frankh — Kosmos, Verlags — GmbH@Co, Stuttgart, 1995. — ISBN: 3-440-07018-2.

2. Tschamer Hans, HB9XY. «BaZooka» DX-antenna on QRP // OQI. — № 30, Vol. 8, 1997. — p. 22—23.

3. Frank J. Witt. Broadband Dipoles. — Some New Insights // QST, Octobar, 1986, p. 27—37.

4. Heys J. (G3BDQ) The Slim Cobra. Practical Wireless. August. — 1995. — P. 28—29.

5. Никитин Ю. (RA9LO). Расчет однодиапазонной проволочной антенны с питанием коаксиальным кабелем // http://krasnodar.online.ru/hamradio/.

6. Макаркин С. (RX3AKT). — Однодиапазонная антенна быстрого резвертывания // Радио-Дизайн. — № 2. — 1998. — с. 46, 54—55.

5. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ НЕСИММЕТРИЧНЫЕ АНТЕННЫ

Антенны, которые будут описаны в этой главе, являются одними из старейших типов вертикальных несимметричных антенн. Все эти антенны были разработаны еще до Второй мировой войны. Во время Второй мировой войны широкополосные несимметричные вибраторы нашли свое использование в военной радиосвязи — эти антенны были установлены на кораблях, на передающих центрах. Плоскостные несимметричные вибраторы, которые будут описаны ниже, устанавливались даже на самолетах. Впоследствии при освоении диапазона ультракоротких волн на основе широкополосных несимметричных вибраторов были созданы широкополосные УКВ антенны.

Из интересного применения широкополосных вибраторов в антенной технике можно отметить следующее. Во времена «холодной войны» на некоторых передатчиках радиостанций «Голос Америки», «Радио Свобода» использовались антенные системы, построенные на широкополосных вибраторах. В то же время практически все антенные системы наших «глушилок» содержали в своем составе эти антенны. Борьба между системами перешла в борьбу между антеннами!

Поскольку широкополосные вибраторы входили в состав многих военных антенных систем, цензура в СССР долгое время не допускала сведений об этих антеннах в популярную любительскую литературу и ограничивала проникновение таких сведений в специальную литературу. Но во времена хрущевской «оттепели» часть запретов была снята, и уже в 1968 году в популярной радиолюбительской литературе в СССР вышла первая публикация радиолюбителя UW4HW, посвященная широкополосной несимметричной вертикальной антенне [1]. Немногим раньше в США также вышла публикация радиолюбителя W2EEY по широкополосным вертикальным антеннам [2]. По моим сведениям, это тоже была первая публикация в популярной литературе Запада, посвященная широкополосным несимметричным антеннам. После этих двух публикаций в радиолюбительской литературе всех стран были опубликованы сотни статей, посвященных этим антеннам. Редко какой радиолюбитель после прочтения этих статей не задумывался об установке универсальной широкополосной антенны! Думаю, мой читатель тоже не является исключением из рядов радиолюбителей, которые разделились на два лагеря. В одном — те, кто уже установил антенну UW4HW/W2EEY, а в другом — те, которые только хотят ее установить. Этим радиолюбителям будет полезна приведенная ниже информация о работе широкополосного несимметричного вибратора.

Хочу обратить внимание, что большинство существующих программ для моделирования антенн имеют некоторые ограничения при моделировании широкополосных вибраторов, описанных в этой главе. Желающие осуществить моделирование этих антенн должны учитывать эти программные ограничения.

5.1. Несимметричные плоскостные вибраторы

Начнем наше рассмотрение с самого простого типа широкополосной вертикальной антенны — несимметричного плоскостного вибратора. Эти антенна широко используется для профессиональной радиосвязи на радиоприемных и передающих центрах. Обычно эта антенна используется для обеспечения работы в широкой полосе частот одного устройства (приемника или передатчика), подключенного к одной антенне. Классический несимметричный плоскостной вибратор показан на рис. 5.1.

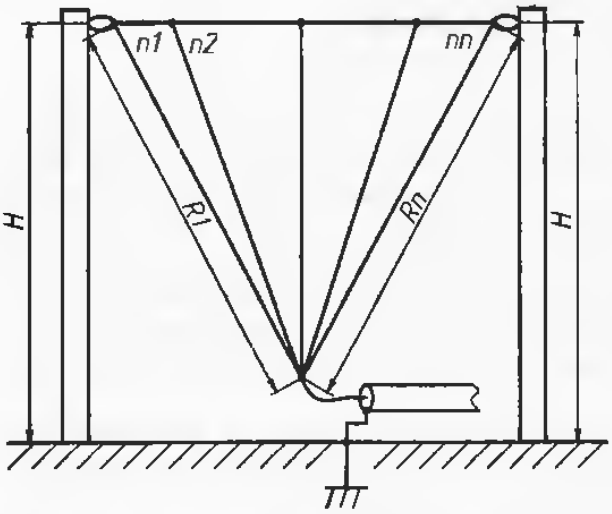


Рис. 5.1. Классический несимметричный плоскостной вибратор

Несимметричный плоскостной вибратор представляет собой треугольное полотно, составленное обычно минимум из 8, максимум из 16 биметаллических проводников *R* диаметром 4...6 мм и подвешенное между опорами высотой *H*. Вследствие того, что полотно антенны образуют проводники с различными длинами и вследствие того, что они замкнуты продольным проводником, перамычкой, антенна имеет широкую полосу пропускания.

Режим работы этой антенны отличается от разонансного. Здесь присутствует комбинированный режим: бегущей волны преимущественно в верхней части антенны и некоторого разонансного распраделения высокочастотного напряжения в нижней части антенны.

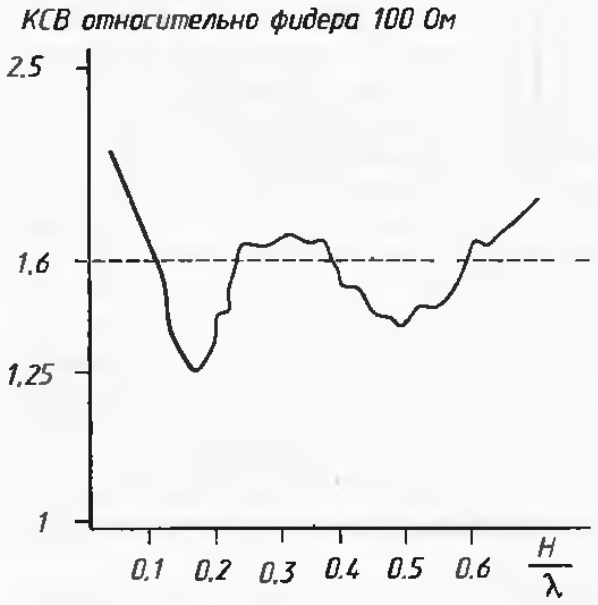


Рис. 5.2. Экспериментальный график КСВ одной из типовых несимметричных плоскостных антенн

Входное сопротивление этой антенны отличается от входного сопротивления классического идеального четвертьволнового вибратора, равного 36 Ом. Это происходит вследствие большой емкости антенны на землю и отсутствия в антенне острых резонансных явлений. Несимметричный плоскостной вибратор имеет входное сопротивление на своих рабочих частотах, составляющее не менее 80 Ом с емкостной частью, равной 30...50 Ом. На практике, в профессиональной связи, для питания таких антенн иногда используют специальные коаксиальные кабели с волновым сопротивлением, равным 100 Ом. Обычно же для питания таких передаточных антенн используют двухпроводную линию с волновым сопротивлением 300...450 Ом.

На рис. 5.2 показан экспериментальный график КСВ одной из типовых несимметричных плоскостных антенн при питании ее по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 100 Ом. Как видно из графика, эта антенна может обеспечить очень широкополосную работу. Например, антенна высотой *H* = 4 м будет работать в непрерывном диапазоне длин волн от 6 до 40 метров, что позволит перекрыть большинство радиолюбительских КВ диапазонов. Для эффективной работы антенны необходима хорошая радиотехническая земля. На передающих центрах используют не менее 100 противовесов длиной (1,5...2) *H*, проложенных под антенной и соединенных с оплеткой коаксиального кабеля питания в месте питания антенны, т. е. для работы антенны используется виртуальное металлическое зеркало. Противовесы могут быть зако-

паны на глубину не более 10 см, могут быть проложены поверх звмли. При использовании такой антенны на приемных центрах используют 10—20 противовесов аналогичной длины.

Антенна имеет практически круговую диаграмму направленности как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Поляризация излучения — преимущественно вертикальная, но некоторая часть излучения имеет горизонтальную поляризацию, что позволяет такой антенне успешно работать с другими антеннами, имеющими как вертикальную, так и горизонтальную поляризацию.

Такую антенну можно использовать и для работы на любительских диапазонах. Для эффективной работы антенны на любительских диапазонах необходимо использовать «землю», аналогичную той, что применяют на передающих центрах. Худший вариант — использование не менее трех резонансных противовесов для каждого любительского диапазона работы антенны.

В радиолюбительской практике антенну можно использовать с коаксиальным 75-омным кабелем. Тем не менее на многих передающих центрах еще остались солидные запасы 100-омного кабеля, и вполне возможно его там недорого приобрести.

5.2. Комбинированные вертикальные плоские широкополосные антенны

Следует заметить, что иногда появляются сообщения о конструкциях радиолюбительских несимметричных плоскостных вибраторах без продольной перемычки. Антенна состоит из ряда четвертьволновых вибраторов, настроенных в резонанс на любительские диапазоны и подключенных параллельно. В этом случае мы имеем дело не с несимметричным плоскостным вибратором, а с комбинированной вертикальной антенной. Схема такой антенны показана на рис. 5.3. КСВ этой антенны имеет минимумы только на любительских диапазонах. Распределение тока и напряжения в составляющих антенну вибраторах будет носить резонансный характер. Следовательно, работа этой антенны в корне отличается от работы широкополосного несимметричного плоского вибратора, в котором распраделение высокочастотных токов близко к режиму бегущей волны. Входное сопротивление комбинированной антенны будет близко к 50 Ом, и для ее питания можно использовать коаксиальный кабель с соответствующим волновым сопротивлением.

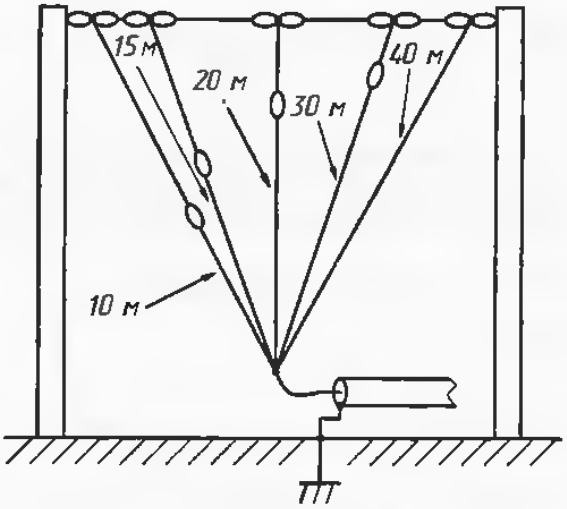


Рис. 5.3. Комбинированная плоская несимметричная антенна

Для работы в узкой полосе частот или для работы в «окнах» частот такие антенны иногда применяются в профессиональной радиосвязи, но их использование ограничено системами постановки (создания) помех и системами радиосвязи в ограниченной полосе частот.

Комбинированная антенна имеет практически круговую диаграмму направленности в вертикальной плоскости с небольшой горизонтвльной составляющей. Для работы этой антенны необходима хорошая радиотехническая «земля», например аналогичная «земле» для описанного выше плоскостного несимметричного вибратора.

В радиолюбительской практике конструирование таких частотно избирательных антенн с целью ослабления приема вне любительских диапазонов вполне оправдано.

5.3. Несимметричный шунтовой плоскостной вибратор

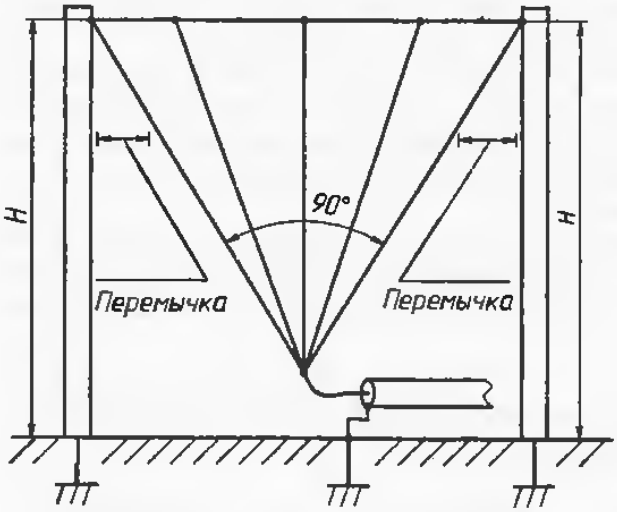


Рис. 5.4. Несимметричный шунтовой плоскостной вибратор

Дальнейшим развитием плоскостного вибратора является несимметричный шунтовой плоскостной вибратор, показанный на рис. 5.4. В этом вибраторе излучатель антенны электрически соединен с металлическими мачтами, между которыми установлена антенна. Металлические мачты для такой антенны выполняют из железа, и мачта играет роль активной нагрузки, подключенной к антенне. В результате частотный диапазон работы антенны в области ее нижних частот немного сужается, но график КСВ в полосе работы частот антенны становится практически плоским. Полосу пропускания антенны можно сместить в сторону высоких частот с помощью перамычек между излучателем антенны и мачтами, как показано на рис. 5.4 Практический график КСВ одного из несимметричного шунтового плоскостного вибратора при использовании для его питания 100-омного кабвля приведен на рис. 5.5.

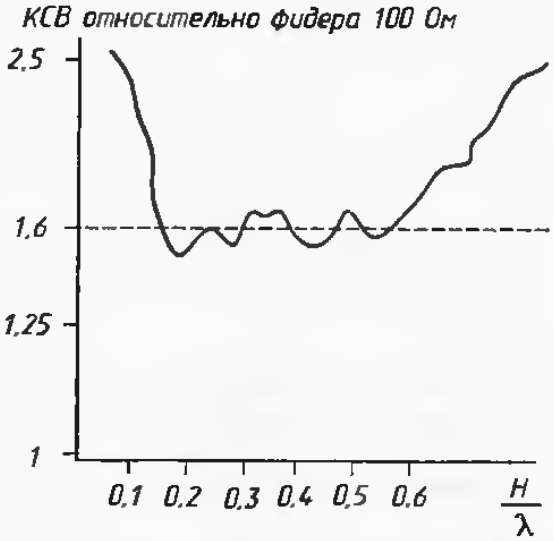


Рис 5.5. Типичный график КСВ шунтового вибратора

В шунтовом вибраторе в полосе его рабочих частот распределение высокочастотного тока и напряжвния практически близко к режиму бегущей волны. Поэтому коэффициент полезного действия шунтового вибраторв ниже, чем простого плоскостного несимметричного вибратора или комбинированного несимметричного вибратора. Это предполагает, что при работе антенны на передачу к ней необходимо подводить повышенную мощность. Но, что поделаешь, это плата за хорошие частотные свойства антенны!

Провод излучателя шунтового плоскостного вибратора заземлен, поэтому антенна является грозобезопасной. Система заземления шунтового вибратора аналогична системе заземления несимметричного ппоскостного вибратора. На передающих центрах шунтовые плоскостные вибраторы тоже находят применение. Описания любительских шунтовых вибраторов встречаются очень редко, тем не менее эта антенна првкрасно подходит для использования ее в радиолюбительских целях. Диаграмма направленности шунтового несимметричного вибратора близка к диаграмме направленности обычного несимметричного плоскостного вибратора.

В диапазонах СВЧ плоскостной несимметричный вибратор и шунтовой плоский вибратор иногда используют в составе сложных антенн.

5.4. Конические вибраторы

Конические вибраторы являются дальнейшим развитием плоскостных несимметричных вибраторов. Конструкция конического вибратора показана на рис. 5.6. Вследствие замены плоскостной конструкции излучателя антенны на объемную широкополосность конических вибраторов в области верхних частот значительно возрастает. Коэффициент перекрытия по частоте при КСВ, равном 1,5, составляет не менее 6. Диаграмма направленности конических вибраторов становится практически круговой в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости диаграмма направленности напоминает овал, прижатый к поверхности земли.

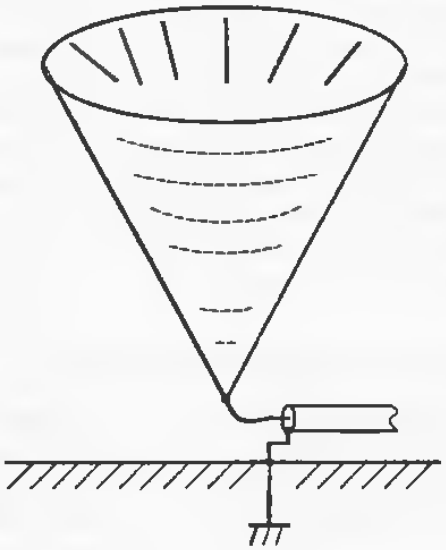


Рис. 5.6. Конический вибратор

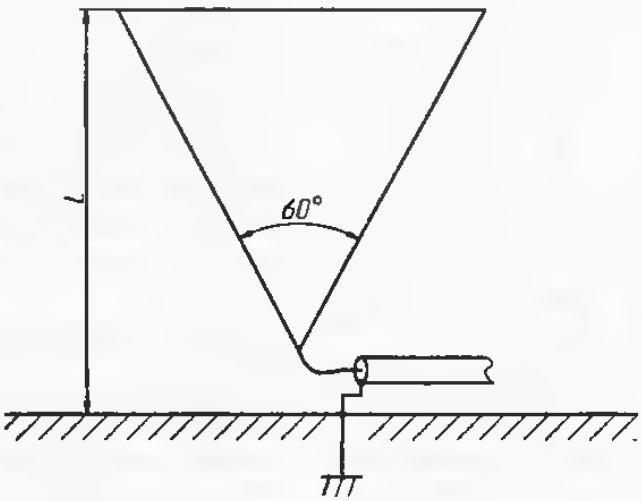


Рис. 5.7. Оптимальный конический вибратор

Максимальную широкополосность и оптимально прижатую к земле диаграмму направленности имеют вибраторы с углом раскрыва конуса, равным 60° (см. рис. 5.7). Вследствие увеличения физических размеров излучателя антенны увеличивается емкость антенны на землю. Режим работы антенны становится все более близким к режиму бегущей волны. Входное сопротивление конических вибраторов вследствие этого ниже, чем плоскостных, и приближается к 70 Ом. Поэтому для питания конических вибраторов оптимально подходит коаксивльный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом.

Хотя конические вибраторы более громоздки по конструкции, чем плоскостные, их иногда используют при работе на коротковолновых диапазонах. Область их использования включает в себя профессиональную редиосвязь, станции создания помех, станции контроля эфира. В этом случае поверхность конуса антенны обычно составляют из

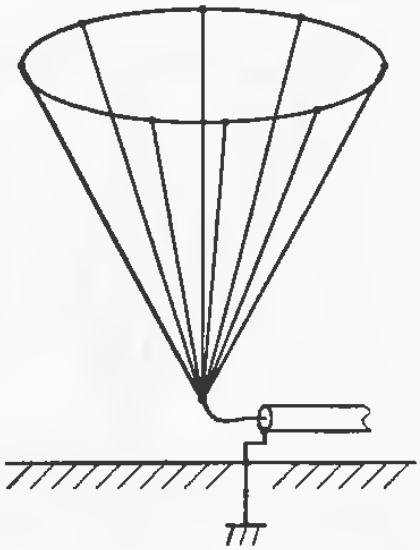


Рис. 5.8. Конический вибратор диапазона коротких волн

линейных проводников, как показано на рис. 5.8. Чем большее количество проводников составляет поверхность конуса, тем эффективнее работает антенна. Основание конуса не принимает участия в работе антенны, поэтому для конусной антенны, составленной из провода, его обычно не выполняют.

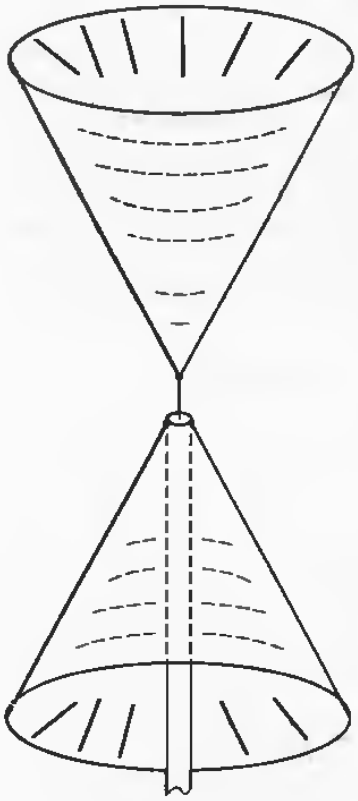


Рис. 5.9. Биконическая антенна

В радиолюбительской практике конические вибраторы при работе на КВ практически не используются. Это обусловлено громоздкостью их конструкции для диапазона коротких волн. Но при работе на УКВ радиолюбители вполнв могут использовать конические вибраторы. Антенна, выполненная на их основе, может перекрыть диапазон 100...600 МГц, куда входят даа радиолюбительских УКВ диапазона — 144 и 430 МГц.

В сверхширокополосной служебной УКВ связи используются обычно биконические антенны, показанные на рис. 5.9. Диаграмма направленности их близка к круговой, изменением раскрыва конуса антенну легко согласовать как с 75-омным, так и 50-омным кабелем. Разработана и выпускается широкая номенклатура биконических вибраторов, и вполне возможно, что в руки радиолюбителя попадется такая коммерческая антенна. При совпадении ее рабочей полосы частот с любительским диапазоном ее вполне можно использовать для любительской работы в эфире.

5.5. Конические шунтовые вибраторы

Для уменьшения неравномерности КСВ в полосе рабочих частот конической антенны используют конические шунтовые вибраторы, показанные на рис. 5.10. Несколько мачт-шунтов поддерживают металлический обруч, составляющий раму конической антенны. Поскольку плоская сторона основания конуса практически не участвует в излучении антенны, при изготовлении конуса из линейных проводников ее обычно не выполняют.

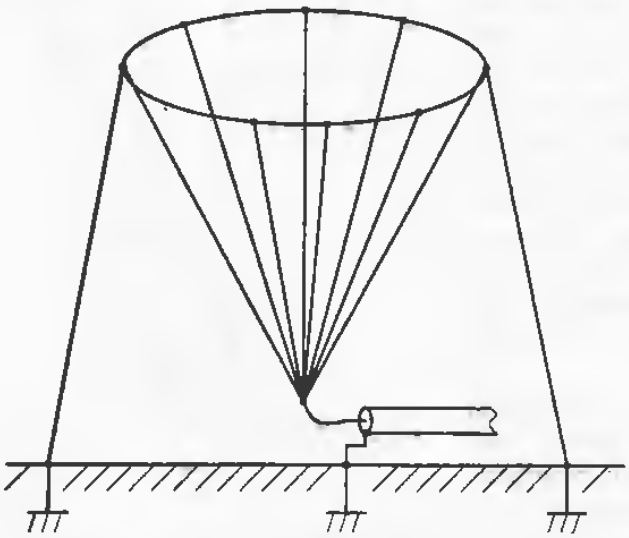


Рис. 5.10. Шунтовой конический вибратор

Теоретическое описание работы конической шунтовой антенны сложнее, чем плоскостной. В этой антенне устанавливается практически режим бегущей волны. Это ведет к тому, что в полосе работы антенны зависимость КСВ от частоты становится практически линейной. К шунтовой конической антенне вследствие этого можно подводить значительный уровень мощности. В зависимости от количества шунтов и места их расположения частотные характеристики антенны и ее диаграмма направленности могут быть изменены в нужную сторону.

Коэффициент полезного действия шунтового вибратора ниже, чем для конического вибратора. Но его преимущество состоит в практиче-

ски линейном графике КСВ и возможности создавать необходимую диаграмму направленности антенны. Практический расчет шунтовой конической антенны является сложным далом и выходит за рамки радиолюбительской тематики.

В конической шунтовой антенне коротких волн излучатель — конус антенны изготавливают из биметаллических проводников, а шунты — мачты выполняют железными. На диапазонах СВЧ иногда применяют конические шунтовые вибраторы в составе сложных широкополосных антенн. Мне не приходилось встречать описания радиолюбительских конических шунтовых антенн.

5.6. Экспоненциальные антенны

Одной из рвзновидностей объемных сверхширокополосных антенн является экспоненциальный излучатель. Его вид показан на рис. 5.11. Поверхность несимметричного экспоненциального излучателя образована экспонентой. Углы, при которых достигается максимальная широкополосность полосы пропускания экспоненциальной антенны, составляют 30° в вершине и 60° в основании экспоненциального вибратора. Преимущество экспоненциального излучателя перад коническим состоит в том, что вся поверхность экспоненциального вибратора принимает участие в излучении/приеме радиоволн. Вследствие этого возрастает и коэффициент полезного действия экспоненциального вибратора. Напомним, что в коническом широкополосном вибратора плоская поверхность конуса (его основание) не принимает участия в работе антенны.

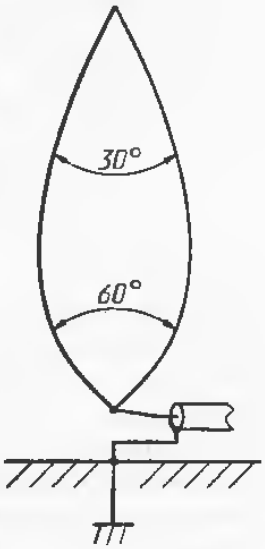


Рис. 5.11. Экспоненциальный излучатель

Практически при сохранении широкополосности антенны радиус экспоненциальной антенны может быть в три раза меньше по сравнению с конической. Входное сопротивление экспоненциального вибратора определяется верхним и нижним углами его раскрыва и при указанных здесь их значениях близко к 70 Ом. В экспоненциальной антенне распределение высокочастотного напряжения (тока) вдоль его поверхности близко к режиму бегущей волны. Но на верхних и нижних частотах работы антенны это распределение становится комбинированным — смешанный резонансный режим и режим бегущей волны.

Диаграмма направленности экспоненциального широкополосного вибратора представляет собой окружность в вертикальной плоскости и близка к овалу в горизонтальной плоскости. Математический анализ работы акспоненциальной антенны гораздо сложнее, чем конической.

5.7. Радиолюбительские экспоненциальные антенны СССР

Экспоненциальные вибраторы широко используются радиолюбителями бывших стран СССР в своей работе. В радиолюбительской литературе СССР первая публикация об этих типах антенн была приведена в [1]. Это были времена некоторого «потепления» в общественной жизни СССР, когда были сняты ограничения на многие темы для печати. В 1963—1969 годах были опубликованы статьи по многим ранее «закрытым» для радиолюбителей антеннам. Были изданы книги по широкополосным и сверхширокополосным антеннам. Издана была книга по подземным антеннам. Печатались книги и статьи по дальнему приему телевидения. К сожалению, буквально через несколько лет ситуация в СССР изменилась. Ранее изданные книги изымались из библиотек и уничтожались. В библиотеках были изъяты журналы «Радио» с фотографиями Хрущева. Цензура в технической литературе стала еще более жестокой. Впрочем, я немного отвлекся от экспоненциальных антенн...

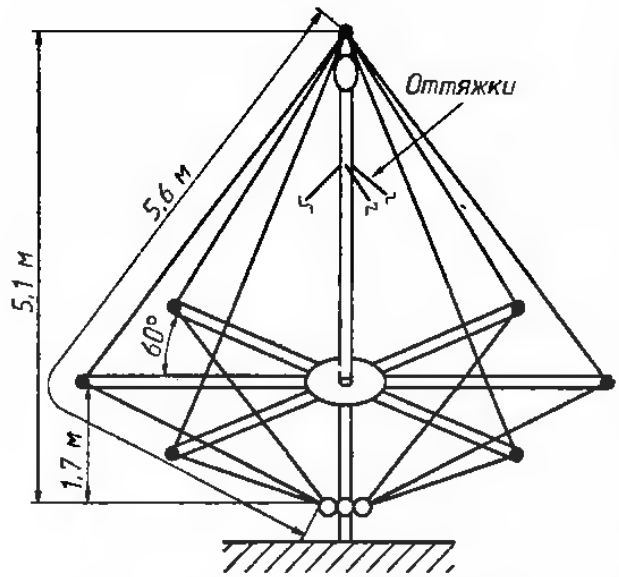


Рис. 5.12. Антенна UW4HW

По позывному автора эта антенна стала известной среди советских радиолюбителей под названием *вертикальная антенна UW4HW*. Радиолюбители ее часто называют «морковка» за внешний вид (см. рис. 5.12). Излучающая система антенны состоит из шести проводов, расположенных в вертикальных плоскостях под углом 60° друг к другу.

В основании и на вершине антенны эти проводв соединены между собой. Выполненная по приведенным размерам антенна работоспособна в диапазоне частот 14...30 МГц. Большую роль в работе этой антенны играет ее «земля». Идеальный вариант — размещение антенны над метвллической проводящей крышей.

Если это невозможно, то необходимо использовать не менее 3 противовесов для каждого любительского диапазона работы антенны. Антенна может работать в любительских диапазонах от 3,5 до 28 МГц, если, как рекомендувт радиолюбитель с позывным UA4PK в [3], длину полотна антенны взять равной 16,08 м, высоту мачты равной 14,8 м, высоту до распорки 5,84 м. Для питания антенны радиолюбитель UA4PK применял коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом и электрической длиной, кратной половине длины волны на частоте на 3,65 МГц. В этом случае антенна будет оптимально согласована на основных любительских диапазонах 3,5; 7; 14; 21; 28 МГц. Для эффективной работы антенны радиолюбитель UA4PK рекомендует использовать хорошую радиотехническую «землю» в конструкции антенны.

Интересная конструкция «земли» экспоненциальной антенны была предложена в литературе [4]. Противовесы в количестве 4 штук выполняются по виду, аналогичному самому экспоненциальному вибратору, как поквзано на рис. 5.13 По конструкции противовес выполнен из медного проводв диаметром 1...2 мм. Для одного противовеса используется 6 проводников, которые закреплены радиально по наружному диаметру спортивного обруча диаметром 1,2 м, концы противовесов тщательно спаяны друг с другом. При таком выполнении противовесов экспоненциальной антенны UW4HW и при питании этой антенны с помощью коаксивльного кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом, КСВ антенны в полосе ее рабочих частот 14...30 МГц составил не более 1,2:1. Недостаток таких противовесов только в одном: в большом количестве проводв, идущем на их изготовление. Но когда необходимо обеспечить дайствительно широкополосную работу этой антенны, такую конструкцию противовесов вполне можно использовать. В противовесах во время работы антенны устанавливается режим бегущей волны. Поэтому они могут быть размещены близко к поверхности земли.

5.8. Экспоненциальная антенна типа W2EEY

Рассмотрим конструкцию широкополосной экспоненциальной антенны типа W2EEY, которая на Западе распространена так же, как антенна типа UW4HW в бывшем СССР. Одной из классических работ, способствующих внедрению экспоненциальной объемной антенны в радиолюбительскую практику в англоязычном мире является статья радиолюбителя W2EEY, опубликованная в [2].

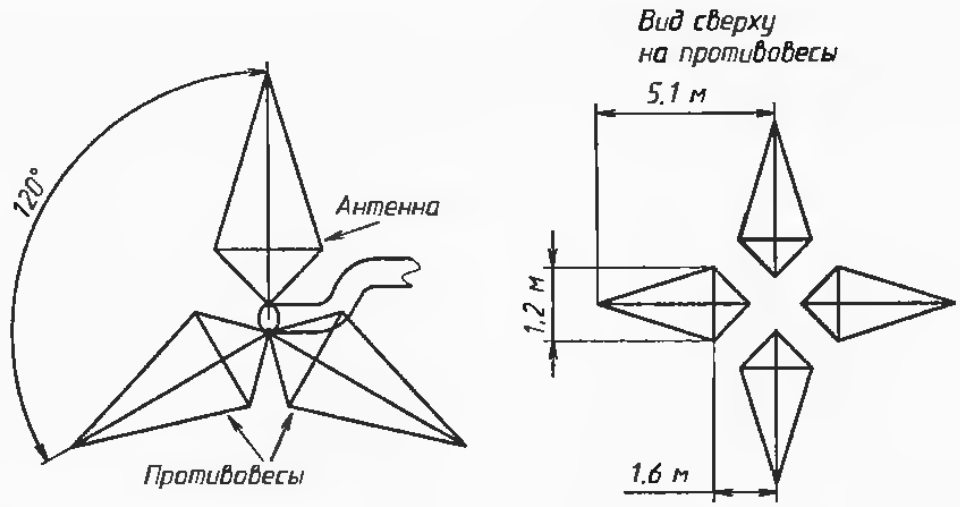


Рис. 5.13. Противовесы экспоненциальной антенны

Конструкция антенны W2EEY показана на рис. 5.14. Излучатель антенны и ее заземляющая система выполнены из 6—10 медных проводников. Использована конструкция широкополосного заземления, которое обеспечивает работу антенны внутри ее полосы пропускания. Это одно из преимуществ конструкции этой антенны перад экспоненциальной антенной типа UW4HW. Заземляющая система антенны типа W2EEY может располагаться непосредственно на поверхности земли.

Антенна типа W2EEY питается коаксиальным кабелем, проходящим внутри «земли» антенны. Для питания антенны желательно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом, но в крайнем случае можно использовать и коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Длина *L* полотна антенны W2EEY анвлогична длине антенны UW4HW при работе ее на этих же диапазонах. Поскольку антенна типа W2EEY расположена в непосредственной близости от поверхности земли и в непосредственной близости от системы противовесов, то для уменьшения емкости антенны на землю и на систему противовесов автор конструкции антенны применил перевернутое положение экспоненты в конструкции антенны.

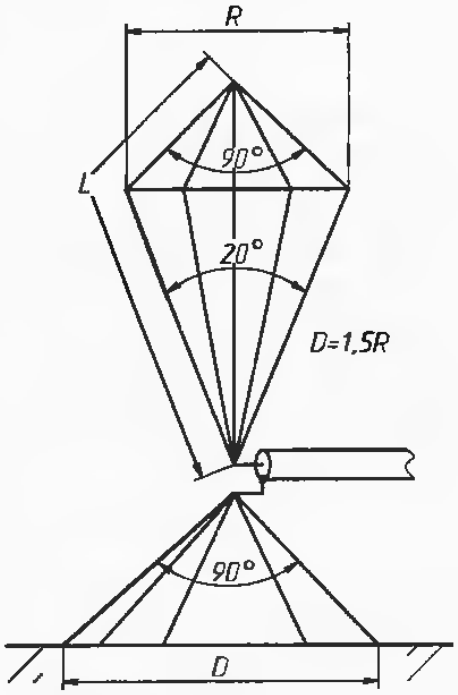


Рис. 5.14. Экспоненциальная антенна типа W2EEY

Теоретически перавернутая экспоненциальная антенна W2EEY по сравнению с антенной UW4HW имеет более равномерный КСВ в полосе частот работы антенны. За счет уменьшения емкостных токов на землю коэффициент полезного действия перевернутой экспоненциальной антенны выше. Это делает более предпочтительным использование антенны W2EEY в радиолюбительских условиях.

Недостаток антенны W2EEY состоит в том, что расположение крестовины для распорок в верхней части мачты ведет к пониженной ветроустойчивости конструкции этой антенны по сравнению с UW4HW и требует более тщательно подходить к конструкции мачты и к использованию более мощных оттяжек.

Так что радиолюбителю придется выбирать — или хорошая работа широкополосной экспоненциальной антенны на всех любительских диапазонах, но необходимость усложненной конструкции ее мачты, или упрощенная конструкция мачты антенны, но и некоторое ухудшение работы антенны на некоторых частотах ее работы.

5.9. Квазиэкспоненциальная антенна

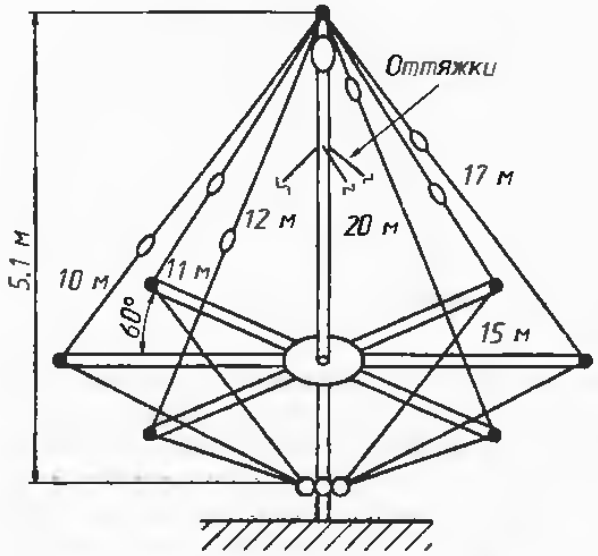


Рис. 5.15. Квазиэкспоненциальная антенна

Следует обратить внимание, что иногда появляются публикации о широкополосных антеннах типа UW4HW, в которых излучатель антенны составляют не замкнутые на конце антенны проводники, а ряд проводников, каждый из которых настроен на любительский диапазон, как показано на рис. 5.15. Но эта конструкция уже не может считаться экспоненциальной антенной. В каждом из ее составляющих резонансных проводников на соответствующем его резонансу диапазону работы будет существовать режим стоячей волны. График КСВ такой антенны будет прадставлять собой не равномерную по диапазону работы антенны линию, а поманую линию с «дырками» минимального КСВ на диапазонах резонанса проводников, составляющих излучатель антенны.

Конечно, такое построение антенны в некоторых случаях вполне возможно, а иногда, может быть, даже и предпочтительней построения класоической экспоненциальной антенны. Путем тщательной настройки в резонанс каждого вибратора можно добиться снижения КСВ на каждом из любительских диапазонов работы антенны. Снижается уровень помех, принимаемый этой антенной.

Для эффективной работы антенны необходимо использовать резонансные противовесы в количестве не менее двух для каждого диапазона ее работы. На частотах резонанса входное сопротивление квазиэкспоненциальной антенны близко к 50 Ом. Это позволяет использовать для ее питания коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Мне не приходилось встречать информации об использовании квазиэкспоненциальной антенны для коммерческих целей.

5.10. Шунтовые экспоненциальные антенны

Экспоненциальные объемные антенны могут быть выполнены шунтовыми. Схема экспоненциальной объемной шунтовой антенны показана на рис. 5.16. В верхней точке излучатель антенны заземлен на железную мачту. Шунт проходит внутри излучателя антенны и не принимает участия в излучении антенной электромагнитных волн. При таком выполнении антенны график КСВ в полосе ее пропускания становится более равномерным. Снижается емкостная составляющая входного сопротивления антенны.

Режим работы шунтового экспоненциального вибратора максимально приближен к режиму бегущей волны. Радиолюбитель UA6HKH в литературе [5] антенну типа UW4HW рекомендует выполнять шунтовой. Конструкция его антенны практически аналогична по размерам антенне UW4HW, но полотно антенны заземлено на мачту в вершине антенны.

Среди радиолюбителей такой вариант исполнения антенны неоднократно критиковался будто бы из-за высоких значений КСВ на отдельных любительских диапазонах и из за низкой эффективности работы антенны. Действительно, эффективность шунтового экспоненциального вибратора ниже, чем эффективность нешунтового. Но за это мы платим твм, что график КСВ антенны внутри ее диапазона работы практически равномерный. Для эффективной работы такой антенны к ней необходимо подводить повышенную мощность или использовать ее в годы повышенной солнечной активности.

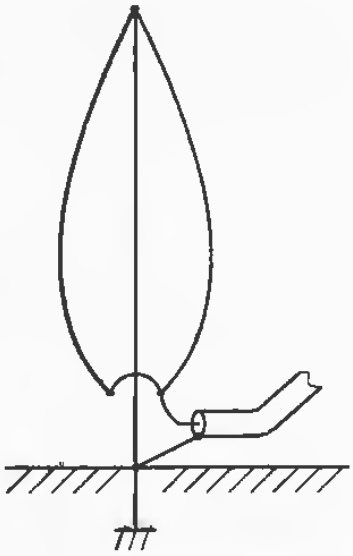


Рис. 5.16. Экспоненциальная шунтовая антенна

Если шунт антенны выполнить недостаточно качественно, что часто бывает при выполнении шунтового вибраторв в радиолюбительских условиях, то режим работы антенны будет существенно ухудшен, на что указыаается в литературе [6]. Вследствие сопротивления переходов труб, составляющих антенную мачту, некачественного заземления системы противовесов на мачту антенны, шунт может иметь свои собственные резонансные частоты и может вносить на этих частотах резонанса в антенну дополнительное сопротивление потерь. Вследствие этого график КСВ может иметь выбросы на частотах, являющихся резонансными для шунта, и на частотах, где шунт вносит максимальное/минимальное сопротивление потерь в антенну. Если они попадут на любительский диапазон, то работа антенны на них будет существенно ухудшена.

Для устранения этого явления шунт антенны необходимо выполнять из 6 железных проводов, проходящих по мачте, которые имеют надежный контакт с вврхушкой полотна антенны и с оплеткой коаксивльного кабеля в основании антенны. Медный провод для выполнения шунта антенны применять тоже можно, хотя при этом возможны резонансные явления в шунте и, следовательно, неравномерности в графике КСВ антенны.

Сама металлическая мачта может быть при этом соединвна с помощью хомутов только с оплеткой коаксиального кабеля в основании экспоненциальной антенны. В вершине проводить электрическое соединение метвллической мачты с антенной необязательно да и нежелательно. Вследствие наличия высокого потенциала на конце антенны к мачте будет подводиться большое ВЧ напряжение. Переходы металлов, составляющих мачту, окислы, покрывающие мачту, часто являются нелинейными элементами и могут производить гармоники при воздействии на них мощным сигналом передатчика. Это может привести к появлению большого уровня TVI.

Необходимо отметить, что надежный прижимной контакт разнородных металлов, таких как медь-алюминий, медь-железо, нежелателен из-за взаимной электрохимической коррозии двух металлов. Вследствие этого разнородные металлы необходимо соединять при помощи электротехнических соединителей или с помощью специальной пайки.

5.11. Плоскостные экспоненциальные вибраторы

Для работы на коротких волнах, в основном на приемных центрах, иногда используются несимметричные плоскостные экспоненциальные вибраторы. Для упрощения их конструкции вибраторы обычно выполнены в двух прямых линиях, но получаемая при этом фигура приближается к экспоненте (рис. 5.17). Входное сопротивление такого вибратора близко к 70 Ом, что позволяет использовать для его питания коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Диаграмма направленности и широкополосность примерно аналогична объемному экспоненци-

альному вибратору. При работе на передачу КПД такой антенны примерно в 3 раза ниже КПД объемного излучателя, поэтому в профессиональной связи плоскостной экспоненциальный вибратор на передачу практически не используют.

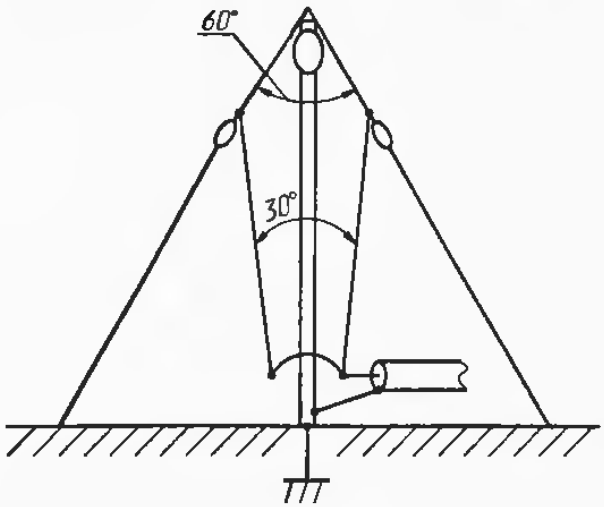


Рис. 5.17. Несимметричные плоскостные экспоненциальные вибраторы

Достоинство несимметричного плоскостного экспоненциального вибратора перед плоскостным вибратором, показанным на рис. 5.1, в том, что он требует для своей установки всего лишь одну мачту. Правда, чтобы обеспечить такую же широкополосную работу, какую может обеспечить несимметричный плоскостной вибратор, показанный на рис. 5.1, плоскостной экспоненциальный вибратор должен иметь мачту высотой почти вдвое выше. Режим работы плоскостного экспоненциального вибратора отличается от режима работы объемного вибратора. В плоском экспоненциальном вибраторе присутствуют значительные резонансные явления и существует комбинированный режим бегущей и стоячей волны. Неравномерность характеристики КСВ для плоского экспоненциального вибратора гораздо выше по сравнению с его объемным аналогом.

Для упрощения конструкции вибратора и уменьшения неравномерности в полосе пропускания антенны часто используют шунтовые несимметричные экспоненциальные вибраторы (рис. 5.18). Использование шунта-мачты дает такой же эффект, как и в объемном экспоненциальном вибраторе. Для достижения еще большей широкополосности иногда используют дополнительное шунтирование полотна антенны (рис. 5.19). Такая антенна очень широкополосная, при КСВ меньше 1,5 ее широкополосность может составить 1:8. Поскольку антенна заземлена по постоянному току, то аппаратура, подключенная к ней, защищена от статического электричества. Режим работы этой антенны уже близок к режиму бегущей волны. Коэффициент полезного действия антенны значительно ниже КПД объемного шунтового вибратора. В профессиональной практике плоские шунтовые антенны используются исключительно в приемных целях.

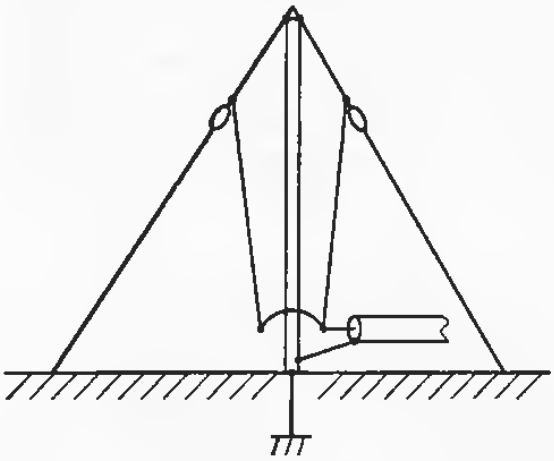


Рис. 5.18. Шунтовой несимметричный экспоненциальный вибратор

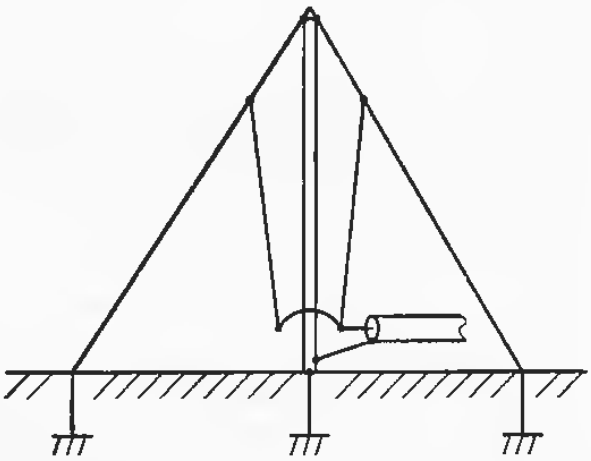


Рис. 5.19. Шунтовой несимметричный экспоненциальный вибратор с дополнительным шунтированием

5.12. Радиолюбительские экспоненциальные плоскостные вибраторы

В радиолюбительской литературе иногда встречаются описания плоскостных экспоненциальных вибраторов как шунтовых, так и нешунтовых, предназначенных для работы на любительских диапазонах. При выполнении таких антенн в радиолюбительских условиях следует обратить внимание на следующее.

Для эффективной работы антенны необходимо хорошее заземление около каждого из шунтов антенны. Наибольшую широкополосность может обеспечить только антенна, форма полотна которой приближена к экспоненте. В радиолюбительских условиях это требование строго можно не соблюдать. Для упрощения конструкции антенны хорошее заземление возле шунтирующих полотно проводников можно не стаавить, а соединить шунты с мачтой одиночным проводом (рис. 5.20). Такая конструкция радиолюбительской плоскостной экспоненциальной антенны была предложенв в литературе [7]. При выполнении антенны по указанным размерам (они приведены на рис. 5.20) антенна работает в непрерывном диапазоне частот 1,5—10 МГц с КСВ не более 2 при питании антенны по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом. Характеристика антенны в полосе ее рабочих частот практически равномерная. Для обеспечения радиотехнической земли использовались 20 противовесов по 20 м и 2 противовеса по 40 м. Провода, образующив полотно антенны, собираются вместе на высоте 1 м от земли, а затем при помощи провода диаметром 4 мм, расположвнного на расстоянии 10 см от мачты, подключаются к коаксиальному кабелю.

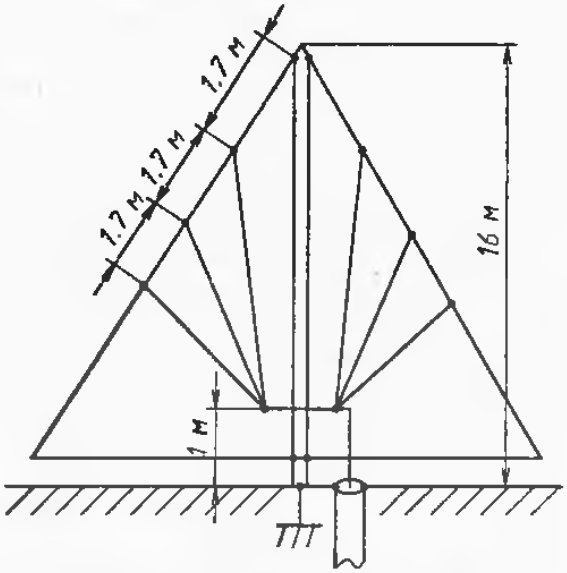


Рис. 5.20. Радиолюбительская конструкция несимметричного плоскостного шунтового вибратора

Плоскостные несимметричные антенны еще мало используются в радиолюбительской практике. Но выделение новых любительских диапазонов и расширение ранее используемых заставляет радиолюбителей обращаться к конструкциям широкополосных антенн. И это могут быть широкополосные несимметричные вибраторы, описанные в этой главе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матийченко Ю. UW4HW. Многодиапазонная вертикальная антенна // Радио. — № 12. — 1968. С. 21.

2. Schultz John, W2EEY. H. F. Conical Cage Antennas // CQ, oct, 1968. — P. 18—20, 130.

3. Касаев Ю. UA4PK. Обзорная коротковолновая антенна — широкополосный объемный экспоненциальный излучатель // Радиохобби. — № 3. — 1999. — С. 19.

4. Чернятынский Ю. UT5YB. Модернизация противовесов UW4HW // Радиолюбитель . — № 1. — 1991. — С. 3.

5. Золотарев Ю. UA6HKH. Многодиапазонная экспоненциальная антенна // Радио. — № 9. — 1981. — С. 22—23.

6. Айзенберг Г. и др. Коротковолновые антенны. — М.: Радио и связь, 1985 — 536 с

7. Саулин А. (EW6TU). Широкополосный штырь // Радиолюбитель КВ и УКВ. — № 7. — 1997 — С. 34

6. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ «BOBTAIL CURTAIN»

Эти антенны были разработаны в середине 20-х годов XX века. В то время начала быстрыми темпами развиваться коротковолновая радиосвязь, которая использовалась практически для всех нужд — для радиовещания, для служебной и военной связи. Ох, для антенной техники это было время безумных идей, широких экспериментов и великих открытий! До сих пор мы используем антенны, разработанные в те времена, и пока многим из этих антенн просто нет замены.

Эта антенна получила свое название из-за ее внешнего вида. В переводе с английского ее название звучит как «висящий обрезанный хвост». Это название антенны прочно вошло в практику не только среди радиолюбителей, но и профессионалов, хотя, по всей видимости, это название она получила от профессионалов. Антенна «Bobtail» является упрощенной версией коллинеарной антенны E. J. Sterba, которая была им запатентована в США в конце 30-х годов.

В конце 40-х годов XX века в радиолюбительской литературе США начали появляться первые публикации, посвященные использованию этих антенн радиолюбителями [1]. Антенны типа «Bobtail» мало распространены среди радиолюбителей из-за их громоздкости и из-за того, что они работают лишь в одном диапазоне частот. Но при наличии достаточного места эти антенны можно с успехом использовать не только на верхних любительских диапазонах, но и на нижних.

6.1. Работа антенны

Разберам работу антенны. Классическая антенна типа «Bobtail curtain» показана на рис. 6.1. На рис. 6.2 приведен прототип антенны «Bobtail», представляющий собой свернутый волновой вертикальный излучатель, имеющий две вертикальные составляющие *1* и *3* с длинами λ/4, или *A*, и одну горизонтальную *2* длиной λ/2, или *B*. Даже в те далекие времена ощущался недостаток места при размещении антенн, что и привело к экспериментам по созданию компактных и эффективных антенн.

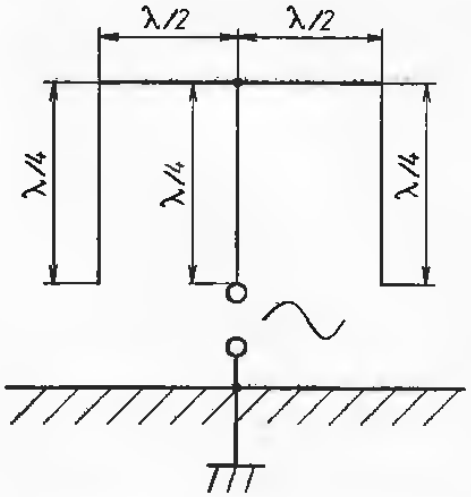


Рис. 6.1. Классическая антенна типа «Bobtail curtain»

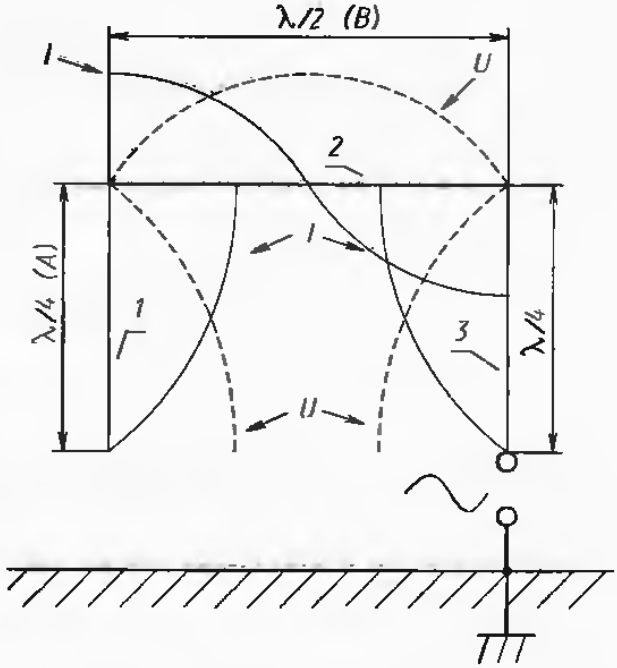


Рис. 6.2. Прототип антенны «Bobtail»

Как известно, волновой излучатель имеет высокое входное сопротивление, которое определяется большим входным сопротивлением самого излучателя (вибратора) и в некоторой степени зависит от качества «земли» антенны, отношения диаметра провода к длине антенны, материала, из которого выполнена антенна высотой подвеса антенны. На любительских диапазонах при изготовлении вибратора из провода диаметром 1...4 мм входное сопротивление волновой антенны может быть в пределах 800 Ом ... 5 кОм. Это позволяет подходить к выполнению «земли» волновой антенны менее тщательно, чем для четвертьволнового штыря, который имеет низкое входное сопротивление.

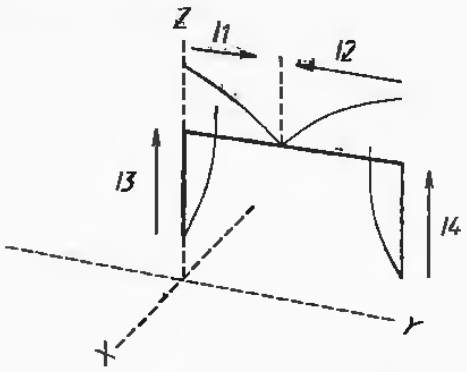


Рис. 6.3. Распределение тока в элементарной антенне «Bobtail»

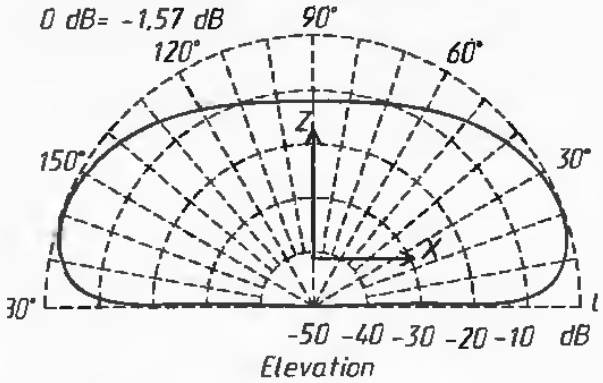


Рис. 6.4. Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости среза

Распределение и условное направление высокочастотного тока вдоль элементарной антенны «Bobtail» показано на рис. 6.3. Из этого распределения видно, что в вертикальных вибраторах токи *I3* и *I4* в антенне находятся в фазе, в горизонтальном вибраторе *I1* и *I2* протекают два противофазных тока, и излучение от горизонтальной части отсутствует. Диаграмма направленности антенны получается только за счет сложения диаграмм направленности двух вертикальных четвертьволновых вибраторов, разнесенных в пространстве на расстояние в половину волны.

В вертикальной плоскости диаграмма направленности антенны будет похожа на овал с максимумом, перпендикулярном плоскости антенны, как это показано на рис. 6.4.

Срез диаграммы направленности элементарной антенны «Bobtail» в горизонтальной плоскости показан на рис. 6.5.

Диаграмма направленности антенны показана условно при размещении антенны над почвой «средней» проводимости. Конечно же, почва, находящаяся под антенной, вносит свой вклад в создание диаграммы направленности антенны. В общем случае, при увеличении проводимости почвы, это будет проявляться в увеличении излучения антенны в открытое пространство за счет отражения электромагнитной волны от земли.

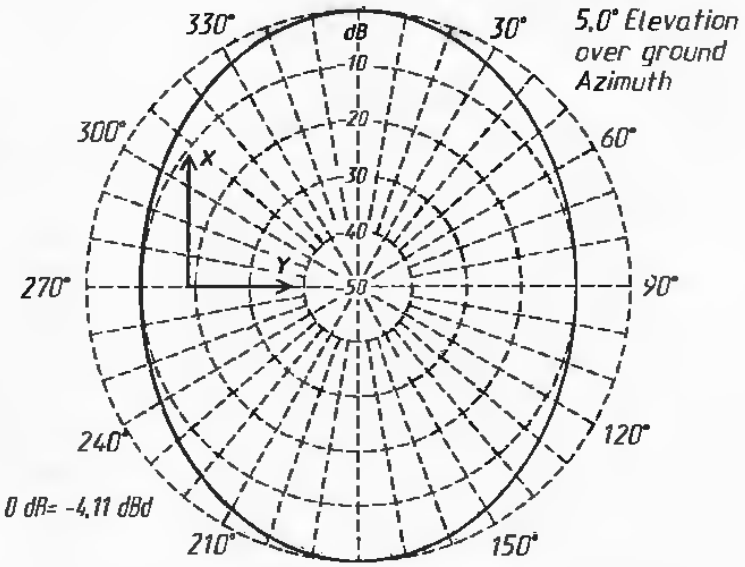


Рис. 6.5. Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости среза

Антенну «Bobtail», имеющую два вертикальных элемента (рис. 6.2), применяют редко как в радиолюбительской, так и в профессиональной связи. Это происходит вследствие

того, что она обеспечивает усиление всего лишь на 2 дБ больше по сравнению с четвертьволновым заземленным вертикальным излучателем. В то же время конструкция антенны значительно сложнее, больше и занимаемое ей место под установку.

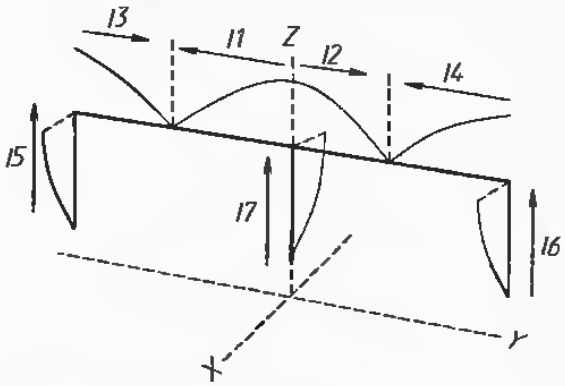


Рис. 6.6. Распредвление токов в антенне «Bobtail», имеющей три вертикальных излучателя

Система из трех вертикальных излучателей (рис. 6.1) имеет усиление не менее чем на 5 дБ больше по сравнению с одиночным четвертьволновым вертикальным излучателем. Кроме того, из-за добавления дополнительной ветки антенны понижается ее входное сопротивление, что облегчает согласование антенны с линией передачи и выходным каскадом первдвтчика. Распределение и условное напрааление тока в антенне «Bobtail» показаны на рис. 6.6.

Как видно из этого распределения, токи (*I5*, *I6*, *I7*) в вертикальных частях антенны направлены в фазе, токи в горизонтальном проводнике (I3-I1, I2-I4) направлены в противофазе и взаимно уничтожаются.

В результате этого излучения радиоволны с горизонтальной поляризацией у этой антенны практически отсутствует. Происходит излучение радиоволн в основном с вертикальной поляризацией. Диаграмма направленности в вертикальной плоскости сраза типичной антенны «Bobtail», содержащей три вертикальных элемента и расположенной над землей «средней» проводимости, показана на рис. 6.7. Диаграмма направленности имеет форму широкой восьмерки, лежащей перпендикулярно плоскости вертикальных излучателей.

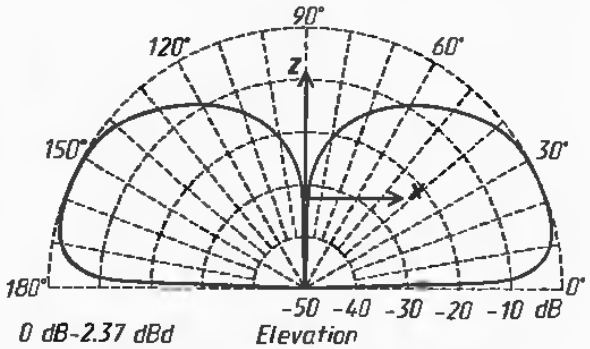


Рис. 6.7. Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости среза

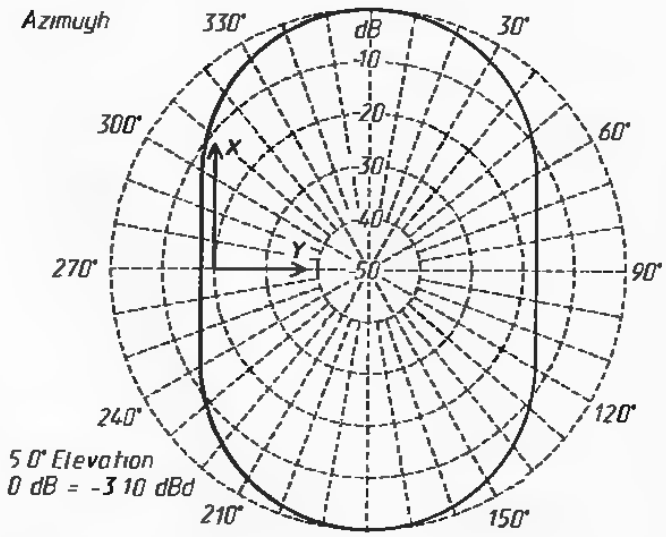


Рис. 6.8 Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости среза

Диаграмма направленности этой антенны в горизонтальной плоскости среза показана на рис. 6.8.

Как следует из вышеизложенного, антенна обеспечивает излучение радиоволн вертикальной поляризации под небольшими углами к горизонту. Благодаря тому, что почва, находящаяся под антенной, имеет конечную проводимость, антенна позволяет принимать радиоволны, имеющие горизонтальную поляризации относительно поверхности земли. Это происходит вследствие изменения угла наклона вектора поляризации при падении радиоволны на почву конечной проводимости. Это благоприятно для проведения

DX-саязей, когда возможно изменение наклона вектора электрической поляризации редиоволн при многократном отражении их от ионосферы. Антенна не требует качественного выполнения «земли» под ней для своей работы. Это послужило основанием для ее использования на передающих центрах Крайнего Севера, где выполнение качественной «земли» под антеннами не всегда возможно.

Но, конечно, почва с хорошей проводимостью, расположенная под антенной, значительно улучшает ее работу. Вследствие этого применяется эта антенна на морских береговых передающих центрах с высокой проводимостью почвы, где ее работа достаточно эффективна. Итак, это поистине универсальная антенна для проведения дальних связей, и ее применение лимитируется лишь местом под ее установку и средствами для ее изготоаления.

Преимущество вертикальных антенн «Bobtail» по сревнению с одиночным четвертьволновым вертикальным излучателем начинает проявляться на трассах свыше 4000 км. Именно на таких расстояниях QSO проходит на малых углах излучения, которые и обеспечивает эта антенна, а также начинает сказываться работа антенны с любым типом поляризации.

6.2. Питание антенн «BOBTAIL»

В радиолюбительской практике обычно используют питание антенны «Bobtail» с помощью параллельного контура (рис. 6.9). Контур настроен на частоту работы антенны. В табл. 6.1 приведены конструктивные данные для выполнения этой цепи редиолюбителями. Катушка связи может содержать от 1/5 до 1/4 части витков от основной катушки. Согласующая цепь должна быть выполнена как можно более качественно. На контурном конденсатора действует большое высокочастотное напряжение. Поэтому при подеодимой к антенне мощности, равной 100 Вт, на этом конденсаторе может быть напряжение выше 1000 В. Следует использовать высоковольтный конденсатор, который также должен иметь малые потери на высоких частотах. Можно использовать самодельный конденсатор, выполненный из коаксиального кабеля или из фольгированного стеклотекстолита.

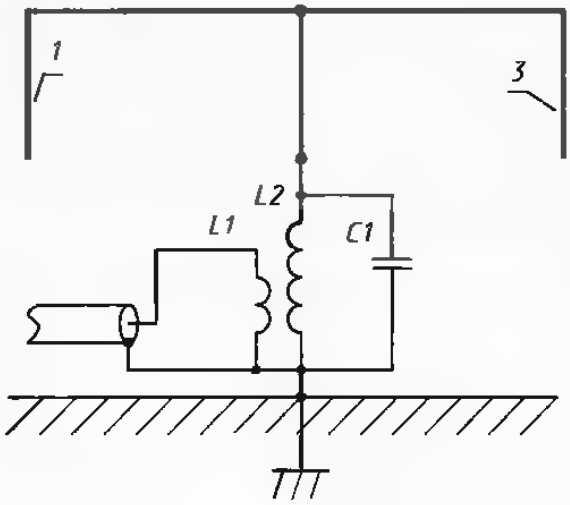


Рис. 6.9. Питание антенны «Bobtail» с помощью парвллельного контура

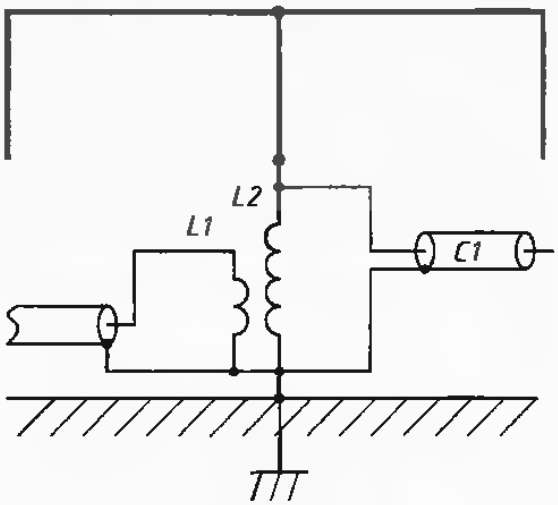


Рис. 6.10. Конденсатор, выполненный на основе коаксиального кабеля, в антенне «Bobtail»

Стандартный коаксиальный кабель имеет емкость 60...100 пФ на 1 м погонной длины. Емкость коаксиального кабеля можно узнать из технических данных кабеля или измерить практически. На рис. 6.10 показано включение в параллельный контур антенны «Bobtail» конденсатора, выполненного на основе коаксиального кабеля.

Таблица 6.1

Данные параллельного контура для питания антенны «Bobtail»

Диапазон, м	Индуктивность катушки, мкГн	Емкость контурного конденсатора, пФ	Диаметр катушки, мм	Длина намотки, мм	Диаметр провода, мм	Количество витков
160	6,8	1000	40	50	2,0	18
80	6	330	30	60	2,0	20
40	2,4	220	40	50	2,0	10
30	2,0	130	30	30	0,6	10
20	1,4	100	30	50	1,0	10
17	1,25	85	25	40	2,0	10
15	1,05	75	25	50	2,0	10
12	0,85	65	50	50	2,0	5
11	0,8	50	18	25	1,5	9
10	0,7	50	50	60	2,0	5
6	0,3	35	18	20	1,5	5

Использовать целый отрезок коаксиального кабеля нерационально, так как он имеет повышенную индуктивную составляющую. Необходимый для построения конденсатора отрезок коаксиального кабеля разрезают на 3—6 частей, затем в них соединяют параллельно оплетки и центральные жилы, как показано на рис. 6.11. Настройку конденсатора производят путем укорочения одного из отрезков коаксиального кабеля, составляющего конденсатор контура, или, если используется целый отрезок, его укорочением.

В качестве конденсатора режекторного контура можно использовать двухсторонний фольгированный материал — стеклотекстолит толщиной 1...3 мм. В этом случае конденсатор получается более громоздким, чем выполненный на основе коаксиального кабеля. Настраивать конденсатор на необходимую емкость можно путем разрезания фольги на одной из двух обкладок этого конденсатора. Необходимо принять меры по влагоизоляции высоковольтного конденсатора, выполненного как на основе коаксиального кабеля, так и на основе стеклотекстолита.

При больших подводимых мощностях к антенне вместо контура используют настроенную замкнутую четвертьволновую открытую линию (рис. 6.12). Такое питание часто используют в системах профессиональной связи.

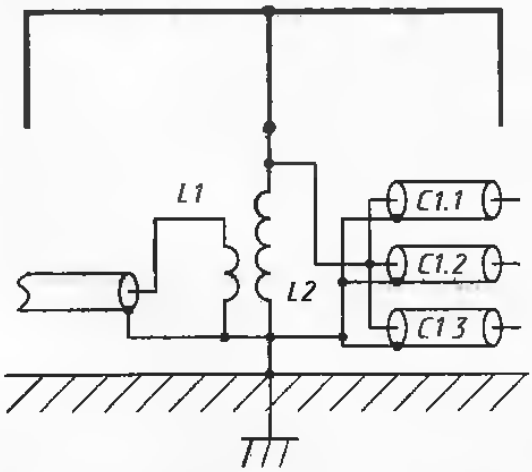


Рис. 6.11. Конденсатор, выполненный на основе отрезков коаксиального кабеля

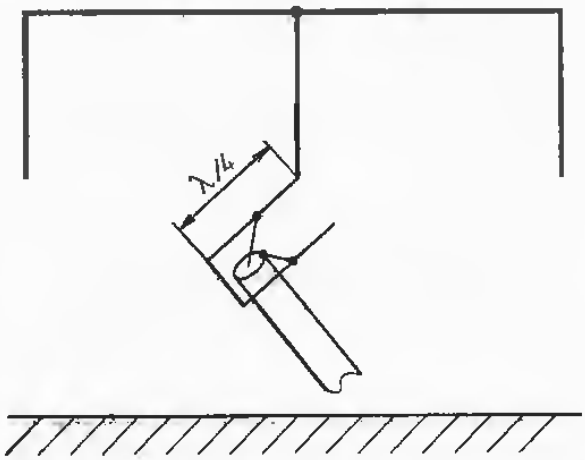


Рис. 6.12. Питание антенны «Bobtail» с помощью четвертьволнового резонатора

При использовании питания антенны «Bobtail» через параллельный контур высокочастотный дроссель на конце кабеля можно не использовать, особенно если коаксиальный кабель лежит на земле. Но его установка не помешавт работе антенны. При использовании для питания антенны четвертьволнового резонатора желательно использовать на выходе коаксиального кабеля высокочастотный дроссель или симметрирующее устройство. Высокочастотный дроссель может быть выполнен в виде 10—20 ферритовых колец, туго надетых на оплетку кабеля.

В табл. 6.2 приведены размеры антенны «Bobtail» для ее работы на любительских диапазонах 160—6 метров. Размеры антенны рассчитаны при помощи программы Ariel V3.01, разработанной Scott Headspeth, WB4YZA. Настройка антенны заключается в небольшом укорачивании крайних вертикальных вибраторов *1* и *3* (рис. 6.9) до получения резонанса антенны в середине любительского диапазона.

Как отмечалось выше, антенна «Bobtail» не требует для своей работы противовесов. Ее реальная диаграмма направленности зависит как от количества «плеч» в антенной системе, так и от параметров почвы (на которые радиолюбитель поалиять не в силах) под антенной. Только металлизация земли под антенной может повлиять на ее работу. Но, по сообщениям некоторых радиолюбителей, использование нескольких противовесов немного улучшает работу антенны «Bobtail». На практике обычно используют или один четвертьволновый противовес, или несколько электрически коротких противовесов длиной в одну десятую от длины волны работы антенны, расположенных под центральным вертикальным вибратором, от которого происходит питание остальных частей антенны.

Таблица 6.2

Размеры антенны «Bobtail» для ее работы на любительских диапазонах 160—6 метров

Диапазон, м. (частота, МГц)	Длина *A*, м (рис. 6 2)	Длина *B*, м (рис. 6 2)
160 (1,900 МГц)	36,1	75,9
80 (3,600 МГц)	19,05	40,06
40 (7,050 МГц)	9,15	19,23
30 (10,100 МГц)	6,79	14,28
20 (14,150 МГц)	4,85	10,19
17 (18,150 МГц)	3,78	7,95
15 (21,150 МГц)	3,29	6.82
12 (25,000 МГц)	2,74	5,77
11 (27,300 МГц)	2,51	5,28
10 (28,500 МГц)	2,41	5,06
6 (51,000 МГц)	1,34	2,82

6.3. Сложные антенны «BOBTAIL»

Как уже отмечалось выше, параметры антенной системы, выполненной на основе антенны «Bobtail», зависят от количества плеч (элементарное плечо антенны показано на рис. 6.2).

Наиболее широко распространена на передающих центрах профессиональная антенна «Bobtail», выполненная на основе двух взаимно перпендикулярно расположенных полотен (рис. 6.13). В этом случае ее входное сопротивление составляет примерно 500—800 Ом в зависимости от выполнения антенны и параметров почвы под ней.

В вертикальной плоскости диаграмма направленности сложной антенны будет представлять собой восьмерки, лежащие в направлении осей антенны. В горизонтальной плоскости диаграмма направленности антенны будет близка к круговой.

Для устранения провалов между сторонами излучения антенной системы и для уменьшения ее входного сопротивления используют включение трех и более полотен (рис. 6.14). В зависимости от выполнения антенны и параметров почвы под ней

ее входное сопротивлвние достигает 300...600 Ом. Это позволяет использовать для ее питания двухпроводные линии передачи соответствующего волнового сопротивления, что упрощеет построение фидерного тракта. Мне не встречались описания выполненных практически антенн, содержащих более трех полотен.

Такую антенну при наличии места можно выполнить и в радиолюбительских условиях. Для ее питания на небольших мощностях (до 100 Вт) целесообразно использовать параллельный контур с катушкой связи, возбуждаемый с помощью коаксиального кабеля.

Радиолюбители могут использовать для питания сложной антенны, имеющей пониженное входное сопротивление, подключение к части витков контурной катушки. Автотрансформаторная схема питания антенны показана на рис. 6.15. Такое питание антенны требует подбора витков катушки при настройке антенны, что не всегда удобно. Во-первых, при использовании высокодобротных катушек, выполненных посеребренным проводом, подсоединение к части витков катушки может понизить ее добротность, а во-вторых, конструктивно не всегда удобно выполнять этот отвод.

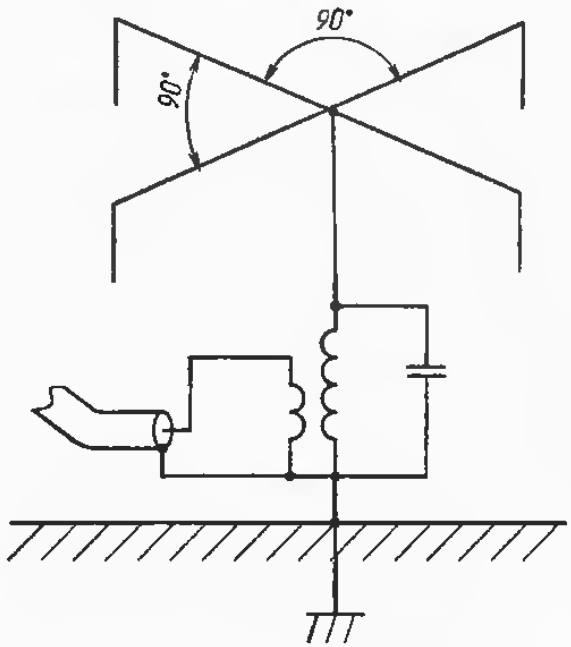


Рис. 6.13. Профессиональная антенна «Bobtail»

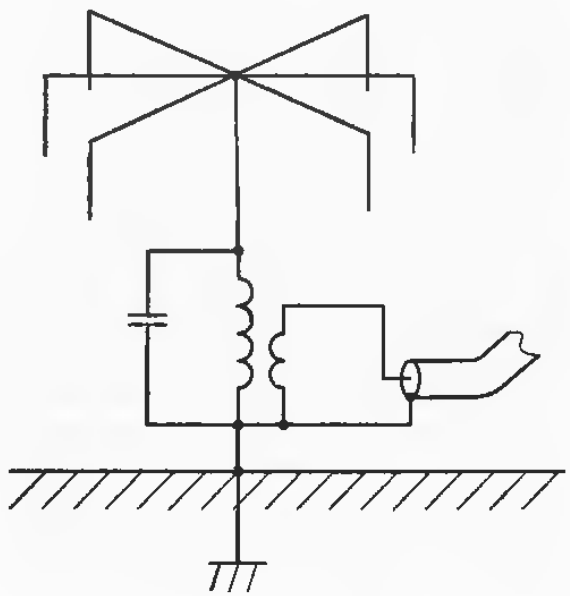


Рис. 6.14. Сложная антенная система «Bobtail»

При использовании сложной антенны для работы на диапазонах 160—40 метров рекомендуется использовать конденсаторную схему согласования, которая показана на рис. 6.16. Конденсаторная схема согласования будет работать с большей эффективностью, чем автотрансформаторная. На диапазонах 30—6 метров можно использоаать любую из схем для питания антенны при соблюдении тщательности ее настройки. Но, по моему опыту, конденсаторная схема согласования настраивается легче автотрансформаторной.

Общая емкость последовательно включенных конденсаторов *C1* и *C2* будет равна емкости конденсатора, указанного в табл. 1. Отношение емкости конденсаторов C_2/C_1 при входном сопротивлении антенны, равном 300...450 Ом, может составлять 1/(2...5). Это отношение определяется экспериментально при настройке антенны.

После настройки согласующей цепи конденсатор *C1* можно заменить постоянным, выполненным из коаксиального кабеля. В качестве конденсатора *C2* можно

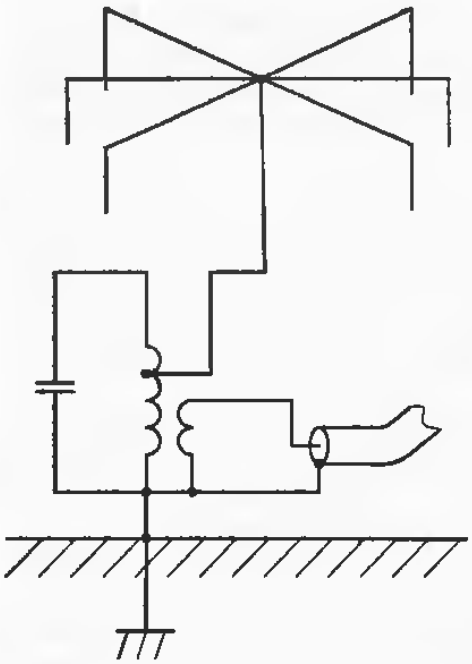


Рис. 6.15. Автотрансформаторное питание антенны

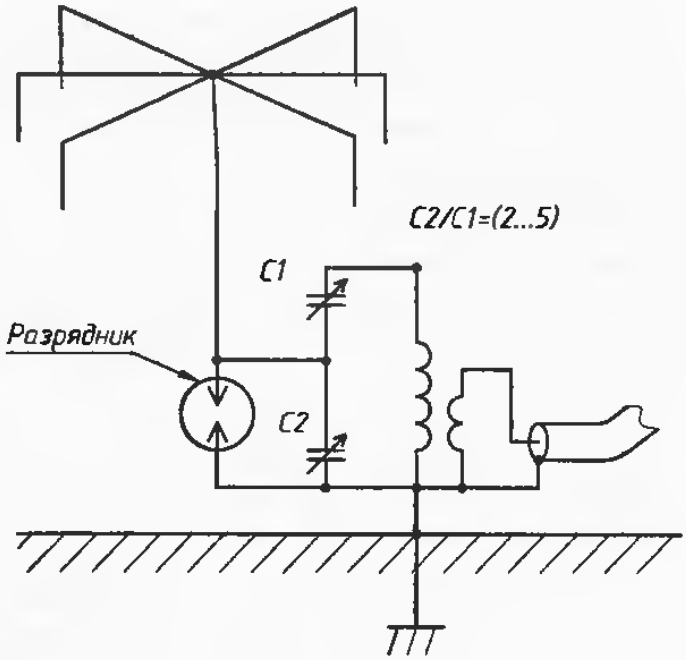


Рис. 6.16. Конденсаторная схема согласования

использовать переменный конденсатор с воздушным диэлектриком и большим зазором между пластинами. Такие конденсаторы использовались в старых приемниках. Тщательная защита этой согласующей цепи от воздействия атмосферных воздействий обязательна.

6.4. Практическое выполнение антенн «BOBTAIL»

Выполнение антенны «Bobtail» можно осуществить согласно рис. 6.17. Между двух опор *1* и *2* растягивается полотно антенны *3* с помощью оттяжек *4*, изолированных от антенны с помощью изоляторов *5*. Поскольку в этих точках минимум напряжения, то эти изоляторы могут быть невысокого качества. Вибраторы антенны *5* и *6* растягиваются в пространствв с помощью гирлянды изоляторов *8* или одного качественного изолятора. Согласующее устройство *9* размещается в коробке, где обеспечена его защита от воздействия атмосферных условий. Противовесы *10* имеют длину $\lambda/4$ и располагаются под небольшим углом к поверхности земли. Кабель питания идет перпендикулярно поверхности земли, затем вдоль нее. В крайнем случае кабель тоже можно пустить под небольшим углом к поверхности земли.

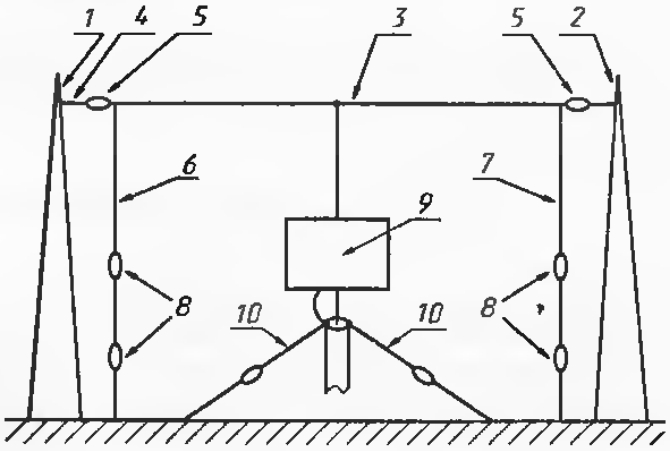


Рис. 6.17. Выполнение антенны «Bobtail»

На концах вибраторов антенны присутствует высокое напряжение. В связи с этим концы следует располагать на возможно большей высоте над землей, чтобы исключить случайное касание человека концов антенны. В противном случае концы антенны необходимо тщательно заизолировать. Изоляторы на концах антенны должны быть высокого качества.

Для работы на верхних любительских КВ диапазонах 6—15 метров полотно антенны можно выполнить из металлических трубок диаметром 10...20 мм, не забыв о качественных изоляторах на концах вибраторов антенны. В этом случае настройку антенны «Bobtail» в резонанс можно выполнить с использованием закорачивающих перемычек *П*, как показано на рис. 6.18. После настройки антенны необходимо обеспечить надежный контакт перемычек с полотном антенны.

И в заключение необходимо отметить, что при отсутствии достаточного места для установки больших антенн «Bobtail» (рис. 6.1, рис. 6.9) можно использовать упрощенную антенну типа «Bobtail», показанную на рис. 6.2. Согласуется она с коаксиальным кабелем так же, как и антенна, показанная на рис. 6.9.

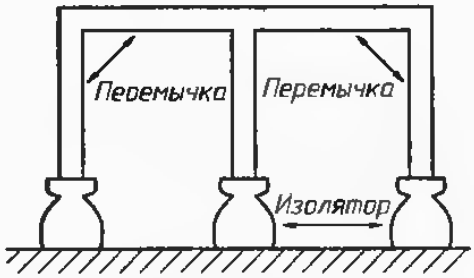


Рис. 6.18. Настройка антенны «Bobtail» в резонанс

Антенна «Bobtail» имеет большие физические размеры. А большая антенна служит хорошей целью для попадания в нее молнии, и имеет большую емкость относительно земли. Вследствие этого заряд, накопленный антенной, может достигать значительной величины. Без электротехнического заземления накопленный антенной статический заряд или наведенный на антенну близкий разряд молнии могут привести к разрушению передатчика, подключенного к антенне. Наиболее просто осуществить защиту антенны от атмосферного электричества можно при помощи заземления на электротехническую землю холодного конца катушки или дна четвертьволнового резонатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Woodrow Smith, W6BCX. «Bet My Money on a Bobtail Beam». — CQ, March. — 1948.
2. Долухенов М. П. Распространение радиоволн. — М.: Связь, 1965.

7. СОГЛАСОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕНН

Вертикальные антенны являются одними из наиболев часто применяемых радиолюбителями антенн для работы в эфире. Отсюда понятен тот интерес, который проявляется к согласованию вертикальных антенн. Для согласования волнового сопротивления коаксиального кабеля с входным сопротивлением штыревой антенны необходимо применять комплекс специальных мер, которые описаны ниже.

От степени согласования вертикальной антенны с фидером зависит эффективность работы антенны. Особенно это касается тех антенн, входное сопротивление которых значительно отличается от волнового сопротивления используемого совместно с ними фидера. Это особенно относится к укороченным вертикальным антеннам низкочастотных диапазонов. Ниже будут описаны основные методы согласоввния вертикальных несимметричных антенн различной длины и расположенных в различных условиях.

Для питания заземленных четвертьволновых антенн часто используют гамма-согласование, с помощью которого можно питать антенну, используя коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом. В служебной и радиолюбительской радиосвязи часто используют согласование вертикальных антенн с коаксиальным кабвлем питания с помощью определенного количества противовесов и углом их наклона относительно штыря антенны. В качвстве примера приведено описание нескольких антенн служебных станций.

Описаны методы согласования укороченных и удлиненных (относительно четвертьволнового вибратора) штыревых антенн, используемых в радиолюбительской и служебной связи. Многие из этих методов используются давно и широко известны радиолюбителям. Другив методы, разработанные также давно, в настоящае время благополучно забыты. Но помня, что новое — это хорошо забытое старое, они воспроизведены здесь и могут помочь радиолюбителям в их экспериментах с вертикальными антеннами.

Все это позволит радиолюбителю выбрать тот способ согласования вертикальной несимметричной антенны, который оптимально подходит ему в конкретных условиях установки антенны.

7.1. Согласование четвертьволновых штыревых антенн с помощью наклона противовесов

Как известно, идеальная четвертьволновая антенна, размещенная непосредстаенно над идеальной проводящай землей, имеет входное сопротивление равное 36 Ом. Антенну с таким входным сопротивлением можно питать по коаксиальному кабелю волновым сопротивлением 75 Ом при помощи четвертьволнового трансформатора, выполненного из коаксиального кабвля с волновым сопротивлением 50 Ом. Схема такого питания четвертьволновой антенны показана на рис. 7.1. К сожалению, подобный случай размещения несимметричной четвертьволновой антенны над идеальной проводящей поверхностью в радиолюбительских условиях бывает достаточно редок. Это может быть только в случае размещения четаертьволновых антенн УКВ диапазона над корпусом автомобиля, который можно считать идеально проводящей поверхностью.

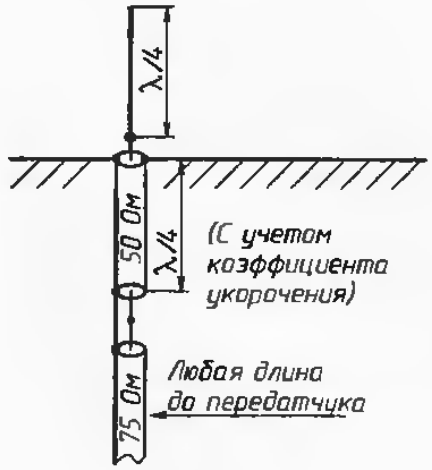


Рис. 7.1. Питание четвертьволновой антенны, размещенной непосредственно над проводящей землей

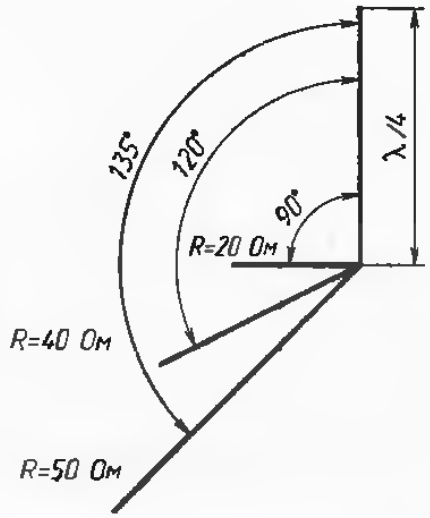


Рис. 7.2. Вертикальная антенна над землей

В диапазоне КВ размещение антенны над достаточно протяженной проводящей поверхностью, которую можно считать «идеальной землей», происходит тоже редко. Наиболее распространен случай, когда антенна установлена непосредственно над плохо проводящей поверхностью. Это может быть, например, бетонная крыша здания. Практически любая почва может рассматриваться при работе на диапазонах коротких волн как плохо проводящая поверхность. Эта плохо проводящая поверхность не может служить «землей» вертикальной несимметричной антенны при ее работе на передачу. В этом случае для обеспечения радиотехнической земли, необходимой для работы вертикальной несимметричной антенны, используются противовесы. При расположении штыря антенны непосредственно над «плохой» землей необходимо использовать много, по крайней мере 10, противовесов для удовлетворительной работы антенны. Оптимальный вариант — антенна поднята на высоту не менее четверти длины волны и с ней используются четвертьволновые резонансные противовесы. В этом случае при варьировании количеством противовесов и углом их наклона относительно штыря вертикальной несимметричной антенны можно осуществить оптимальное согласование антенной системы с коаксиальным кабелем.

Рассмотрим, как это можно осуществить. Четвертьволновая штыревая антенна, установленная на высоте не менее длины волны относительно поверхности земли и снабженная четырьмя четвертьволновыми противовесами, имеет входное сопротивление около 20 Ом при расположении противовесов под углом 90° к антенне, сопротивление 40 Ом при расположении противовесов под углом 120° к антенне, сопротивление 50 Ом при расположении противовесов под углом 135° к антенне (см. рис. 7.2).

Дальнейшее увеличение количества противовесов незначительно уменьшит входное сопротивление несимметричной вертикальной антенны.

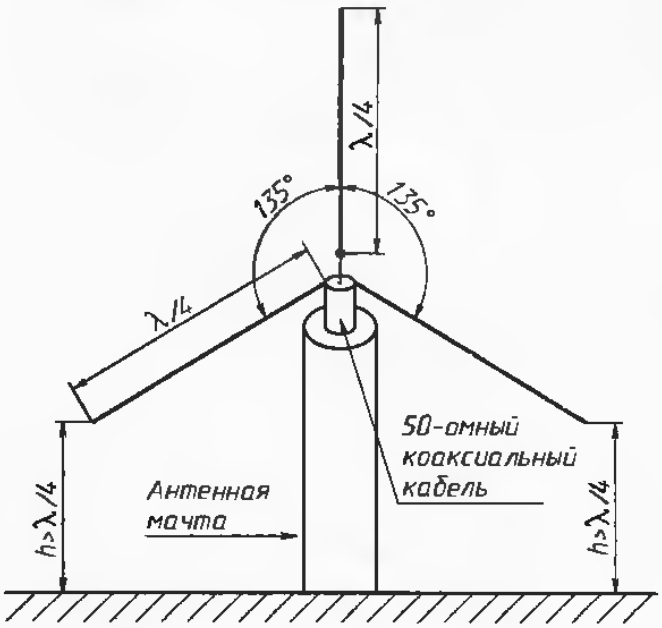


Рис. 7.3. Вертикальная антенна с входным сопротивлением 50 Ом

Для того, чтобы сопротивление антенны было близко к 50 Ом, необходимо концы противовесов расположить относительно проводящей поверхности на высоте не менее четверти длины волны. Это условие легко выполнить при размещении антенны на металлической мачте, как показано на рис. 7.3. Такое построение несимметричной вертикальной антенны может быть выполнено при ее работе на УКВ и верхних КВ диапазонах. С увеличением длины волны, на которой будет работать антенна и, следовательно, с увеличением размеров антенны, это условие становится все более и более трудно выполнимым. Поэтому в радиолюбительских условиях при построении КВ антенн низкочастотных диапазонов это условие часто не выполняется и концы противовесов антенны находятся на небольшой высоте над землей. Тогда входное сопротивление антенной системы скорей всего не будет точно равно 50 Ом и во многом будет зависеть от проводящих свойств земли и от высоты расположения штыря антенны и противовесов относительно ев. При хорошей проводимости земли входное

сопротивление антенны может быть менее 50 Ом. При плохо проводящей земле входное сопротивление антенны может быть даже более 50 Ом. Это связано с тем, что в земле будет рассеиваться высокочастотная энергия, подводимая к антенне. В реальных условиях за плохо проводящую землю можно принять бетонную крышу или слабо проводящую сухую почву.

Следует обратить внимание на то, что для правильной работы штыревой несимметричной антенны принято использовать четное количество противовесов, диаметрально расположенных относительно друг друга. В этом случае высокочастотные токи, протекающие в противоположных противовесах, компенсируют друг друга (рис. 7.4) Это приводит к значительному снижению уровня излучения, имеющего горизонтальную поляризацию в общем излучении штыревой антенны, а также снижает излучение внешней оплетки коаксиального кабеля. При нечетном количестве противовесов такой компенсации высокочастотных токов не будет, в результате этого горизонтальная составляющая в излучении антенны увеличивается и возможен антенный эффект фидера.

Диаграмма направленности несимметричной вертикальной антенны с противовесами имеет лепестки, расположенные вдоль противовесов. Коммерческие вертикальные несимметричные антенны в основном имеют четное количество противовесов. В радиолюбительских условиях возможна установка вертикальной антенны как с четным, так и с нечетным количеством противовесов.

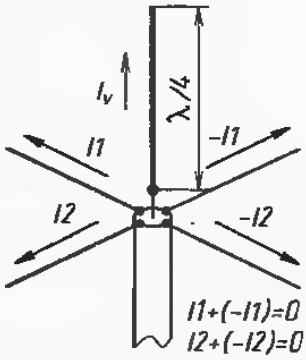


Рис. 7.4. Компенсация токов в четных противовесах

7.2. Вертикальные несимметричные антенны с вертикальным расположением противовесов

Для того, чтобы использовать для питания вертикальной несимметричной антенны коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом, необходимо противовесы располагать под углом 180° к штырю антенны, как показано на рис. 7.5. Практически такое расположение противовесов требует экспериментальной корректировки длин противовесов, так как вследствие их близкого расположения к металлической мачте антенны происходит их неизбежная расстройка. Такая вертикальная антенна с вертикально расположенными противовесами излучает под малым углом к горизонту (примерно 24°). Такой угол излучения очень хорошо подходит для обеспечения служебной низовой УКВ связи и для проведения дальних связей на КВ.

В коммерческих УКВ антеннах вместо вертикально расположенных противовесов используют четвертьволновый стакан, как показано на рис. 7.6. В радиолюбительских условиях выполнение четвертьволнового стакана хотя и затруднительно, но все же возможно. На для работы на КВ такие антенны используют редко. Это связано с громоздкостью конструкций высоких мачт, так как для корректной работы антенной системы требуется, чтобы концы противовесов находились на расстоянии не менее четверти длины волны над поверхностью земли в случае хорошей ее проводимости. Если на УКВ это условие выполняется относительно легко, то для работы на КВ это условие часто трудновыполнимо.

7.3. Коэффициент укорочения вертикальной антенны

При конструировании вибратора четвертьволновой несимметричной антенны и четвертьволновых противовесов необходимо учитывать коэффициент укорочения, который зависит от диаметра штыря и противовесов антенны.

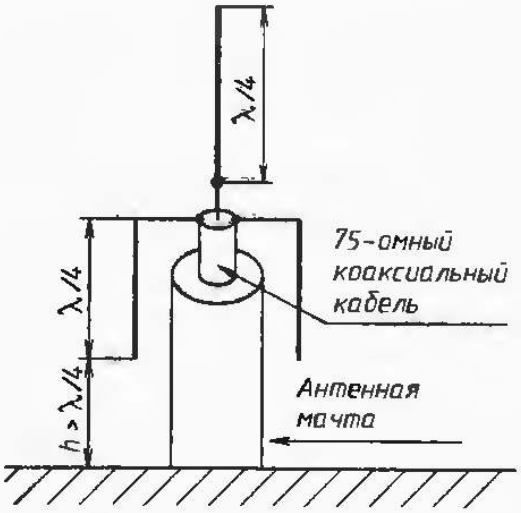


Рис. 7.5. Вертикальная несимметричная антенна с входным сопротивлением 75 Ом

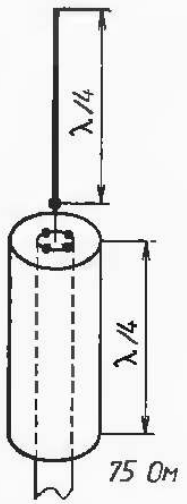


Рис. 7.6. Вертикальная несимметричная антенна с четвертьволновым стаканом

При конструировании коммерческих несимметричных антенн коэффициент укорочения учитывается. При установке радиолюбительских антенн коэффициент укорочения для штыря антенны и ее противовесов часто не рассчитывается должным образом и весьма редко производится настройка противовесов антенны в резонанс. Поэтому входное сопротивление радиолюбительских вертикальных антенн может значительно отличаться от их теоретического значения. Вследствие такого некорректного выполнения антенная система будет нуждаться в дополнительном согласовании с коаксиальным кабелем питания. Для определения коэффициента укорочения штыря антенны и противовесов можно воспользоваться графиком, приведенным на рис. 7.7.

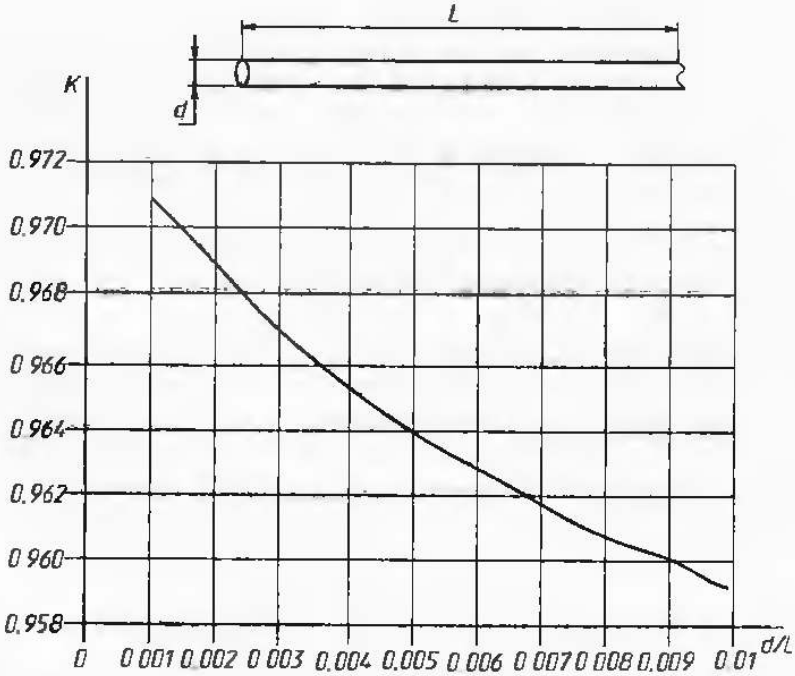


Рис. 7.7 График для определения коэффициента укорочения вибратора

Как видно из графика, коэффициент укорочения зависит от отношения диаметра штыря или противовесов к длине волны. Но в реальной конструкции вертикальной КВ или УКВ антенны свой вклад в увеличение коэффициента укорочения вносит конструкция антенны. За счет протекания емкостных токов между элементами антенны, за счет влияния посторонних предметов и земли на работу антенны и за счет множества других факторов, которые иногда трудно поддаются учету, значение реального коэффициент укорочения вибратора антенны обычно больше его теоретического значения.

7.4. Гамма-согласование штыревых антенн

Гамма-согласование является универсальным видом согласования, при помощи которого можно обеспечить питание заземленного штыря, причем этот штырь может быть как резонансным, так и неразонансным. Налагается только одно условие: длина этого штыря должна быть хотя бы сравнимой с длиной самого гамма-согласования!

Разберем упрощенную работу гамма-согласования с резонансной четвертьволновой несимметричной антенной. Для пояснения работы гамма-согласования рассмотрим, как можно обеспечить питание для четвертьволнового штыря, установленного над идеально проводящей землей. Мы знаем, что входное сопротивление такого штыря равно 36 Ом и для его питания можно использовать согласующее устройство совместно с фидером (коаксиальный кабель или двухпроводная линия), подключенным непосредственно к нижнему концу штыря. В этом случае при подаче в коаксиальный кабель высокочастотной мощности в этом штыре установится соответствующее распределение высокочастотного тока, которое показано на рис. 7.8,а. Такое же самое распределение высокочастотного тока в штыре можно установить и при помощи гамма-согласования. Для этого штырь заземляется и со стороны земли к штырю подключается замкнутый отрезок деухпроводной линии, причем одна сторона этой линии — общая с антенной. В этом случае при прохождении высокочастотного тока через эту линию ток, протекающий в части двухпроводной линии, общей с антенной, служит для возбуждения антенны. Схема гамма-согласования и распределение тока в нем и антенне показано на рис. 7.8,б.

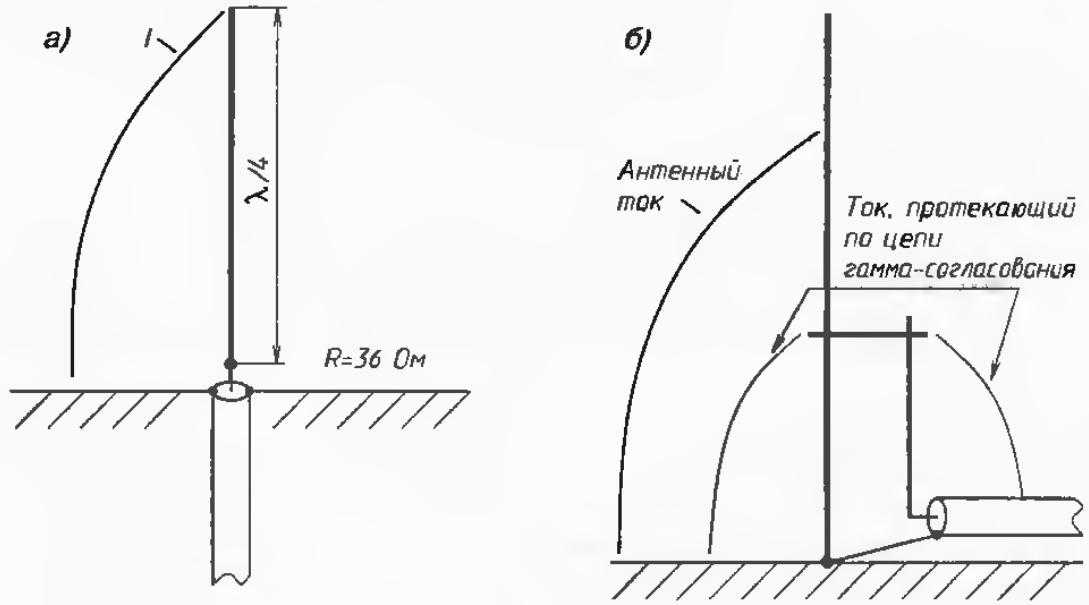


Рис. 7.8. Питание четвертьволнового несимметричного вибратора

Известно, что замкнутая линия, которая входит в состав гамма-согласования и к которой подключается фидер, в зависимости от ее длины может иметь активное сопротивление от нуля (длина замкнутой линии равна нулю) до бесконечности (длина замкнутой линии равна λ/4). Это значит, что гамма-согласование может быть использовано с фидером, имеющим любое волновое сопротивление. Это может быть коаксиальный кабвль, обладающий волновым сопротивлением 50 или 75 Ом, и деухпроводная линия, имеющая сопротивление 300...600 Ом. Импеданс замкнутой двухпроводной линии длиной меньше, чем λ/4, состоит из активной и реактивной частей. Реактивная часть в этом импедансе имеет положительную, или индуктивную, составляющую сопротивления. Радиолюбители знают, как «бороться» с индуктивной составляющей во входном сопротивлении антенны. Для этого используют последовательно включенный конденсатор, который компенсирует эту лишнюю реактивность. Схема гамма-согласования с компенсирующим конденсатором показана на рис. 7.9.

Из этого описания работы гамма-согласования понятна его стратегия настройки. Длина гамма-согласования определяет значение его входного сопротивления. Чем длиннее линия, образующая гамма-согласование, тем выше входное сопротивление этого гамма-согласования, чем короче длина гамма-согласования, тем его входное сопротивление ниже. Это относится как для активной, так и для индуктивной составляющей входного сопротивления гамма-согласования. Подобрав длину линии для гамма-согласования, активная часть которого имеет входное сопротивление, равное волновому сопротивлению фидера питания, при помощи компенсирующего конденсатора убирают индуктивную составляющую во входном сопротивлении антенны.

Поскольку линия, составляющая гамма-согласование, тесно связана с антенной, реактивность из антенны вносится во входное сопротивление гамма-согласования, и наоборот. Следовательно, если не скомпенсировать реактивность во входном сопротивлении гамма-согласования, то эта реактивность будет внесена в антенну, что приведет к сдвигу резонанса антенны вниз, или, что то же самое, внесение индуктивной составляющей в сопротивление антенны. В некоторых случаях этот эффект используют и применяют для построения несимметричной антенны с длиной вибратора немного меньше резонансной. Такой вибратор имеет емкостную составляющую сопротивления, которая при внесении в сопротивление гамма-согласования, имеющего индуктивную составляющую, компенсирует эту состаляющую. Это позволяет строить гамма-согласование без использования компенсирующего конденсатора, что в некоторых случаях бывает необходимо.

Конечно, на самом деле работа гамма-согласования гораздо сложнее, чем приведенная здесь. При работе гамма-согласования проявляются еще трансформирующие свойства линии, составляющей гамма-согласование, присутстауют и некоторые другие моменты.

Если гамма-согласование используется для работы совместно с несимметричной четвертьволновой антенной, расположенной над идеальной проводящей поверхностью, то примерно прикинуть размеры гамма-согласования можно используя табл. 7.1. Выполнение гамма-согласования на реальной антенне, расположенной в реальных условиях, позволит уточнить длину линии, используемой в гамма-согласовании.

Дальнейшим развитием гамма-согласования является омега-согласование. Схема омега-согласования приведена на рис. 7.10. Омега-согласование предложил использовать известный американский радиолюбитель William Orr (автор многих книг по антеннам, которые на Западе стали бестселлерами), имеющий позывной W6SAI, в 1955 году. Омега-согласование отличается от схемы гамма-согласования наличием конденсатора *C2*. Роль этого конденсатора аналогична функции перемычки, используемой в линии гамма-согласования. То есть, изменяя емкость конденсатора *C2*, мы виртуально уменьшаем или удлиняем линию, используемую

в гамма-согласовании, или, что то же самое, изменяем активную составляющую входного сопротивления гамма-согласования. Это позволяет сразу выполнить схему гамма-согласования и при его настройке не деигать перемычку, что часто бывает не очень удобно. Конденсатор *C1* в схеме омега-согласования производит компенсацию реактивной составляющей в его входном сопротивлении, аналогично тому, как он это делает в схемв гамма-согласования. Конденсатор *C2* позволяет использовать линию в гамма-согласовании длиной примерно адаое меньшей, чем в схеме традиционного гамма-согласования. Праада, мне приходилось встречать замечания по поводу того, что омега-согласование примерно на 20% менее эффективно, чем традиционное гамма-согласование. Данные переменных конденсаторов гамма- и омвга- согласования приведены в табл. 7.2.

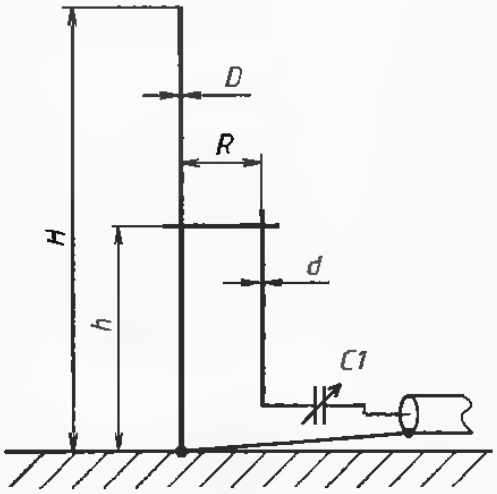


Рис. 7.9. Гамма-согласование антенны с использованием укорачивающего конденсатора

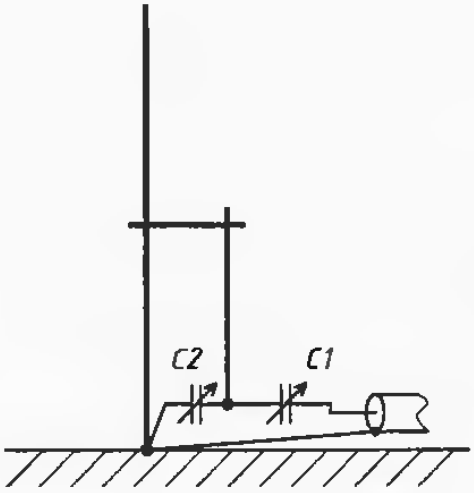


Рис. 7.10. Омега-согласование вертикальной антенны

Таблица 7.1

Данные для выполнения гамма-согласования

		Волновое сопротивление коаксиального кабеля, Ом	
		50	75
Размеры	R	0,03H	0,04H
	d	0,5D	0,2D
	h	0,15H	0,18H

Таблица 7.2

Значения переменных конденсаторов гамма- и омега-согласования

		Диапазон, м				
		10-17	20-30	40	80	160
Емкость конденсаторов, пФ	*C1*	100	150	280	560	1200
	C2	50	100	150	200	350

Настраивать гамма(омега)-согласование желательно при помощи высокочастотного моста. Определяют активную часть входного сопротивление антенны со стороны гамма(омега)-согласования. Если она выше волнового сопротивления используемого для питания антенны фидера, длину *h* (см рис. 7 9) уменьшают.

если больше, длину *h* уаеличивают. В схеме омега-согласования эту часть настройки производят только изменением емкости конденсатора *C2*. После подгонки активного сопротивления при помощи конденсатора *C1* компенсируют реактивную часть сопротивления. Поскольку эти настройки — подгонка активного сопротивления при помощи перемычки или конденсатора *C2* и компенсация индуктивного сопротивления взаимно зависимы, обычно требуется проделать несколько последовательных настроек входного сопротивления и компенсации индуктивного для получения наилучшего варианта настройки гамма-согласования.

Конденсаторы *C1* и *C2* должны быть заключены во влагонепроницаемую коробку. Они могут быть рассчитаны на невысокое рабочее напряжение. Жвлательно использовать переменные конденсаторы с воздушным диэлектриком. Чврез конденсатор *C1* протекает значительный ток, поэтому жвлательно, чтобы он имел хорошие контакты в роторе. Очень хороший вариант — использовать конденсатор типа «бабочка». Возможно вмвсто одного конденсатора использовать сдвоенный, в котором переменные конденсаторы связанны общим ротором. В этом случае подключаются к статорным пластинам деух конденсаторов.

Сейчас в сети Интернет на различных радиолюбительских сайтах есть множество различных программ, позволяющих рассчитать параметры гамма-согласования как для резонансных, так и для нерезонансных штырей и вибраторов, необходимо только знать их входное сопротивление, что и является тем главным фактором, который ограничивает практическое применение этих программ. Практическов сопротивление антенны, тем более установленной в окружении различных металлических предметов, может значительно отличаться от его теоретического значения, а это приводит к тому, что в реальных условиях установки антенны размеры гамма-согласования, рассчитанные теоретически, будут требовать их практической корректировки....

Мною был проделан расчет для гамма-согласования штыря диаметром 16 мм (для макета использовалась антенна из лыжных палок) и длиной от 3 до 10 м для работы на диапазоне 20 метров. Толщина провода гамма-согласования была выбрана равной 4 мм, расстояние между проводником гамма-согласования и вибратором антенны 80 мм. Гамма-согласование рассчитывалось для работы с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом. Результаты расчета представлены на графиках, приведенных на рис. 7.11. Как видно из этого рисунка, длинв антенны, которую может согласовать гамма-согласование с выбранными мной параметрами (толщина проводника 4 мм и расстояние между антенной и «гаммой» 80 мм), составляет 3 м. Затем длина гамма-согласования начинает превышать длину антенны.

На графиках видно, что максимальная емкость конденсатора, включенного последовательного с проводом гамма-согласования, и, следовательно, минимальное рвактивное сопротивление будут при длине штыря, равном $\lambda/4$, то есть когда в штыре отсутствует реактивная составляющая. При увеличении длины штыря свыше четверти длины волны, то есть при появлении в сопротивлении штыря индуктивной составляющей, для ее компенсации следует увеличивать емкостное сопротивление конденсатора, или, что то же самое, уменьшать его емкость. Практическая проверка результатов теоретического расчета показвла, что при использовании гамма-согласования с рассчитанной длиной только при помощи последовательного конденсатора можно было достичь хорошего согласования антенны с коаксиальным кабелем. КСВ антенны не превышал 1,2:1

7.5. Согласование вертикальных антенн длиной, отличной от четверти волны

Не всегда аозможна установка вертикальной антенны длиной равной точно чвтверти волны. Иногда для выполнения аибратора вертикальной антенны используют

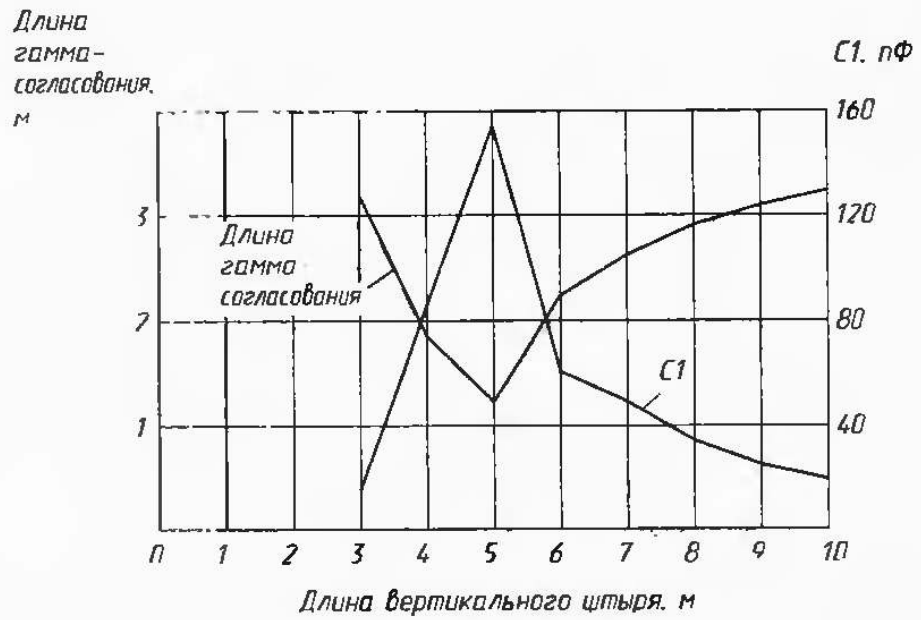


Рис. 7.11. График параметров гамма-согласования

уже имеющиеся в наличии списанные вертикальные армейские антенны или длину вибратора вертикальной антенны выбирают с учетом компромиссов работы на нескольких любительских диапазонах. В этом случае входное сопротивление вибратора антенны будет различным на разных диапазонах работы антенны. В любом случае необходимо обеспечить согласование входного сопротивления антенной системы с волновым сопротивлением коаксиального кабеля. В предыдущем параграфе мы рассмотрели согласование вертикальной антенны при помощи гамма-согласования. Здесь мы рассмотрим, как обойтись без него. Для того, чтобы понять теоретические принципы согласования вертикальной антенны произвольной длины, рассмотрим распределение тока и напряжения и входное сопротивление в штыре высотой λ, которое показано на рис. 7.12.

Как видно из этого рисунка, при длине штыря вертикальной антенны, равной соответственно λ/4; 3/4 λ, его входное сопротивление при расположении вертикальной антенны над идеально проводящей поверхностью составит 36 Ом. Если длина вертикальной антенны будет короче (в пределах длины λ/8), чем длина λ/4 или 3/4 λ, то входное сопротивление этой антенны будет лежать в пределах 15...36 Ом. Если длина штыря будет больше, чем λ/4 или 3/4 λ (в пределах λ/8), то активное сопротивление этой вертикальной антенны будет нвходиться в пределах 36...100 Ом. В промежуточных значениях изменения длины штыря его сопротивление излучения будет или в пределах 100...1000 Ом, или менее 10 Ом.

При использовании для питания вертикальной антенны коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом наибольший интерес представляет участок длины, где входное сопротивление штыря меняется в пределах от 36 до 100 Ом. Именно в этом участке можно оптимально согласовать вертикальную антенну с коаксиальным кабелем. На рисунке показан также знак реактивной составляющей входного сопротивления штыря при изменении его длины.

При работе антенны на этом участке для компенсации реактивного входного сопротивления радиолюбители обычно используют включение реактивного сопротивления противоположного знака. Например, последовательно с электрически коротким штырем включают так называемую удлиняющую индуктивность, компенсирующую емкостную составляющую во входном сопротивлении штыря. Последовательно с электрически длинной вертикальной антенной включают так назы-

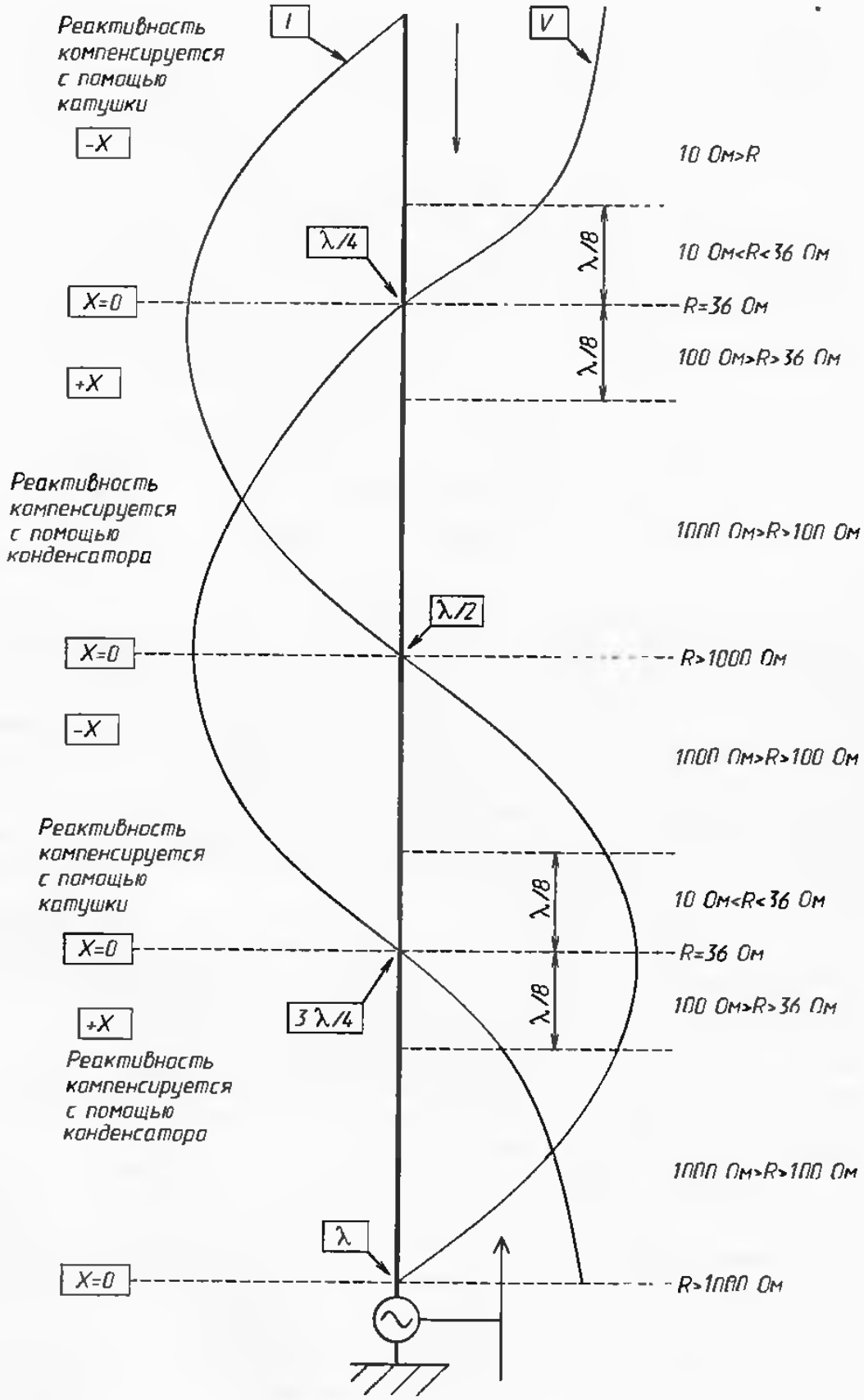


Рис. 7.12. Распределение тока, напряжения и входное сопротивление вертикальной антенны длиной λ

ваемую укорачивающую емкость, служащую для компенсации индуктивной составляющей входного сопротивления штыря.

Есть еще и другие методы согласования входного сопротивления ввртиквльных антенн с волновым сопротивлением коаксивльного кабеля. Ниже мы их разберем болев подробно.

7.6. Согласование электрически длинной вертикальной антенны с входным сопротивлением 36—100 Ом

Рассмотрим распределение активного входного сопротивления вертикальной антенны по длине вибратора. Как показано на рис. 7.12, активное входное сопротивление штыря длиной чуть большей $\lambda/4$ находится в пределах 36...100 Ом с небольшой реактивной индуктивной составляющей, обеспвченной «лишней» длиной штыря.

Из этого распределения следует, что если выполнить штырь вертикальной антенны длиной большей, чем $\lambda/4$, можно добиться, чтобы активная составляющая его входного импеданса была равна 50 или 75 Ом. Следовательно, для питания антенны можно использовать коаксиальный кабель с соответствующим волновым сопротивлением. Реактивную состааляющую входного импеданса компенсируют конденсатором переменной емкости *C1*, последовательно включенным с вибратором антенны, как показано на рис. 7.13.

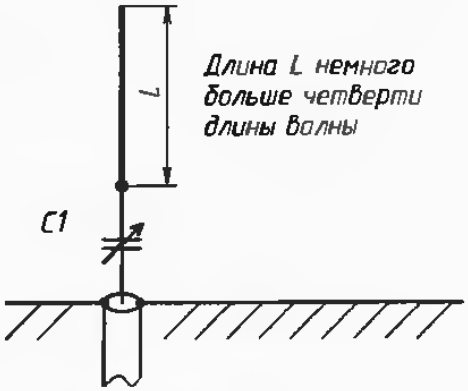


Рис. 7.13. Питание электрически удлиненной вертикальной антенны

Для выполнения штыревой вертикальной антенны с активным сопротивлением ее входного импеданса, точно равным волновому сопротивлению коаксиального кабеля, необходимо точно знать коэффициент укорочения для этого штыря. Однако при практическом выполнении штыревых антенн трудно точно определить значение коэффициента укорочения вибратора, поскольку реальный коэффициент укорочения зависит не только от отношения диаметра штыря к его длине, но и от расположения антенны относительно посторонних проводящих предметов, в некоторой степени от противовесов и от качества выполнения самих противоввсов, от их расположения относительно антенны. Поэтому часто при выполнении вертикальной антенны точно по теоретическим размерам ее длина все равно будет требовать небольшой подстройки для точного согласования входного сопротивления антенной системы с волновым сопротивлением питающего коаксиального кабеля.

Многие радиолюбительские программы для расчета и моделирования антенн, которые сейчас можно бесплатно «скачать» с Интернета, позволяют достаточно точно определить длину штыря вертикальной антенны для согласования его входного активного сопротивления с коаксиальным кабелем любого волнового сопротивления. Эти программы часто позволяют учесть многие из вышеуказанных условий.

Конденсатор, используемый для компенсации реактивной составляющей вибратора, может быть рассчитан на небольшое напряжение, но на большой ток. Как показывает опыт, при подводимых к антенне мощностях до 100 Вт удовлетворительно рвботают керамические подстроечные конденсаторы типа КПК, КПК-1. При использовании в качестве «укорачивающих» конденсаторов воздушных переменных конденсаторов, используемых в старых ламповых приемниках, можно

подводить к антенне мощность до 200 Вт. Желательно использовать переменный конденсатор без трущихся контактов роторе, например типа «бабочка». Если это невозможно, то для исключения потерь высокочастотных токов на трущихся контактах ротора лучше припаять проводник, идущий к конденсатору, непосредственно к его ротору. Также для исключения потерь на трущихся контактах ротора можно использовать двойной конденсатор переменной емкости, в котором для подключения к антенне и к коаксиальному кабелю используются отводы только от статорных пластин.

«Укорачивающие» конденсаторы необходимо тщательно защищать от воздействия атмосферных условий, так как при воздействии на них тумана, влаги конденсаторы могут выйти из строя.

7.7. Согласование укороченных штырей с входным сопротивлением 15—36 Ом

Не всегда удается использовать полноразмерный четвертьволновый штырь для выполнения вертикальной антенной системы. При разработке штырей, длина которых будет подходить для компромиссной работы на нескольких диапазонах, часто оказывается, что в каком-то диапазоне штырь имеет длину значительно меньшую, чем $\lambda/4$.

Классическое согласование укороченной вертикальной антенны в этом случае заключается в использование удлиняющей катушки, включенной последовательно с антенной, как это показано на рис. 7.14. Катушка физически как бы «удлиняет» путь высокочастотных токов протекающих по антенне.

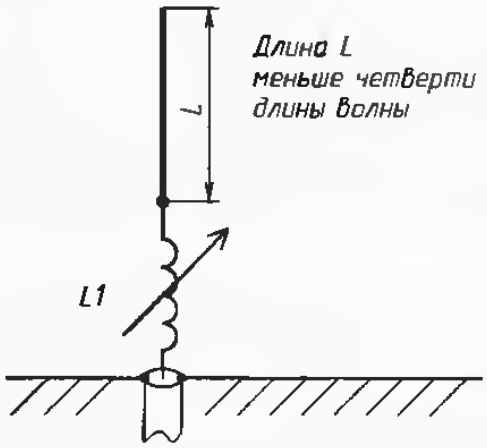


Рис. 7.14. Питание электрически укороченной вертикальной антенны

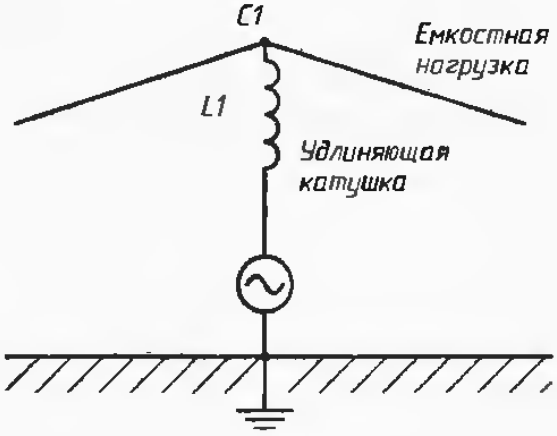


Рис. 7.15. Использование нагрузочной катушки в электрически короткой антенне

Последовательно включенная со штырем индуктивность компенсирует емкостную составляющую в импедансе штыря. Активная часть входного сопротивления электрически короткого штыря может быть согласована с волновым сопротивлением коаксиального кабеля путем использования несложных согласующе-трансформирующих устройств.

В табл. 7.3 приведен примерный КПД штырей высотой короче, чем $\lambda/4$, источник питания которых находится в основании штыря. Конечно, реальный КПД практически выполненных коротких антенн будет ниже. Увеличить КПД электрически коротких антенн можно, расположив согласующую катушку не в основании антенны, а на ее вершине и использовав при этом емкостную нагрузку на вершине антенны,

как показано на рис. 7.15. При таком расположении на антенне эта катушка носит название «нагрузочная» катушка. Расчет ее параметров несколько сложнее, чем расчет параметров удлиняющей катушки.

При использовании вместо удлиняющей нагрузочной катушки ток, протекающий в основании антенны, будет иметь большую величину. Вследствие этого излучение антенны с нагрузочной катушкой будет тоже больше, чем с удлиняющей.

Таблица 7.3

КПД штырей высотой короче, чем λ/4

КПД, %	Электрическая длина штыря, λ	Относительная длина штыря, % от значения λ/4
100	0,25	100
60	0,175	70
30	0,125	50
10	0,075	30
5	0,05	20

Теоретическое определение значения индуктивности удлиняющей и нагрузочной катушки — непростое дело. Их индуктивность зависит от физической длины вибратора, от коэффициента укорочения вибратора, от электрической проводимости поверхности штыря на высокочастотном токе, от емкости антенны на «землю», от наличия близкорасположенных проводящих предметов.

В сети Интернет можно найти программы для расчета величины удлиняющей и нагрузочной катушек. Но даже выполненная по этим расчетам катушка на практике скорей всего будет нуждаться в некоторой корректировке своей индуктивности. Поэтому в радиолюбительской практике эти катушки обычно выполняют переменной индуктивности, что позволяет произвести настройку антенны при любом варианте ее выполнения. Величину индуктивности этих катушек можно менять переключением отводов от их витков. Можно включить последовательно с удлиняющей катушкой вариометр небольшой индуктивности.

В табл. 7.4 приведены значения индуктивности и конструктивные данные удлиняющих и нагрузочных катушек для различных диапазонов при длине штыря не менее 0,1λ. При меньшей длине штыря значение индуктивности необходимо увеличить. При большей длине штыря значения индуктивности удлиняющей катушки будут меньше.

Таблица 7.4

Значения индуктивности и конструктивные данные удлиняющих и нагрузочных катушек

Диапазон, м	Индуктивность L, мкГн	Диаметр, мм	Длина намотки, мм	Количество витков, n
160	100	50	50	60
80	60	40	50	65
40, 30, 20	50	40	50	45
17, 15, 12	20	30	40	40
11—10	10	30	50	30
6	5	20	25	20

На практике эти катушки желательно выполнить как можно более качественно. Эти катушки можно не герметизировать, но необходимо обеспечить защиту витков катушек лаком, стойким к атмосферным воздействиям, и обеспечить надежный электрический контакт (желательно паяный) катушки с коаксиальным кабелем и вибратором антенны

7.8. Питание укороченных вертикальных антенн с входным сопротивлением менее 15 Ом

Укороченные вертикальные антенны, которые широко используются на низкочастотных любительских диапазонах 160—80 метров, имеют малое сопротивление излучения. В зависимости от степени их укорочения сопротивление излучения антенны может составлять 5—15 Ом. Для питания таких антенн через коаксиальный кабель с распространенным волновым сопротивлением 50...75 Ом необходимо использовать специальные согласующие устройства.

Обычно эти устройства располагаются непосредственно около штыря антенны. Поскольку согласующие устройства обычно содержат катушки индуктивности и переменные конденсаторы, то их необходимо тщательно герметизировать. КПД таких согласующих устройств обычно недостаточно велик.

В радиолюбительских условиях гораздо проще использовать питание укороченной вертикальной антенны с помощью четвертьволнового трансформатора, как показано на рис. 7.16. Четвертьволновой трансформатор может быть выполнен из двух или трех соединенных параллельно четвертьволновых отрезков того же коаксиального кабеля, из которого выполнен фидер антенны, конечно с учетом их коэффициента укорочения.

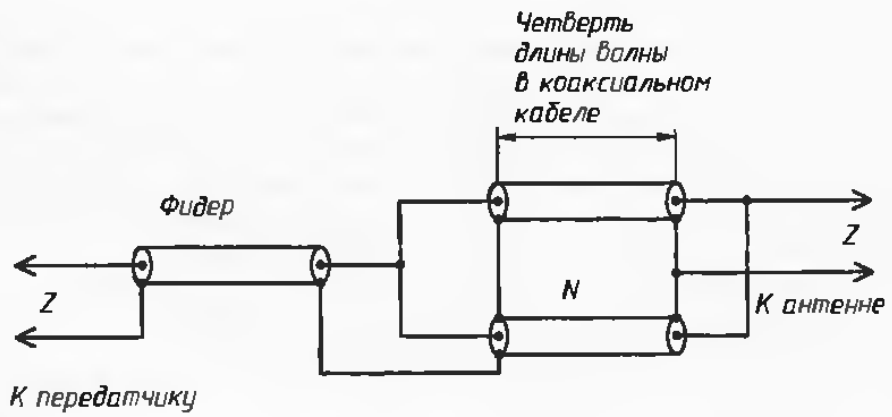


Рис. 7.16. Четвертьволновый трансформатор в согласовании коротких антенн

В табл. 7.5 показано значение сопротивления на конце четвертьволнового трансформатора в зависимости от волнового сопротивления кабеля и от количества отрезков кабеля, используемых для формирования четвертьволнового трансформатора. Использование более трех отрезков коаксиального кабеля для создания четвертьволнового трансформатора неэффективно. Применяя комбинацию питающий коаксиальный кабель 75 Ом — трансформатор из 50-омных параллельно включенных отрезков, можно еще более понизить сопротивление на выходе фидерной системы. В табл. 7.6 приведено значение этого сопротивления при использовании вышеуказанной схемы построения.

7.9. Согласование вертикальных антенн с входным сопротивлением 100—1000 Ом

Наиболее неприятный вариант, возникающий при питании вертикальной антенны коаксиальным кабелем, когда входное сопротивление штыря лежит в пределах 100...1000 Ом. В этом случае согласование входного сопротивления штыря с волновым сопротивлением коаксиального кабеля с помощью только одного элемента, конденсатора или индуктивности, затруднено.

Таблица 7.5

Четвертьволновый трансформатор на параллельном кабеле

Волновое сопротивление коаксиального кабеля питания, Ом	Количество отрезков в коаксиальном четвертьволновом трансформаторе, *N*	
	2	3
	Сопротивление нагрузки *Z* на конце трансформатора, Ом	
50	12,5	5,12
75	18,5	8,3

Таблица 7.6

Четвертьволновый трансформатор на параллельном кабеле в цепи фидера другого волнового сопротиаления

Количество отрезков кабеля в трансформаторе, *N*	2	3
Сопротивление нагрузки *Z* при фидере (75 Ом) и трансформаторе, выполненном из 50-омного кабеля, Ом	8,33	3,5

Иногда выполняют согласующее устройство на основе L-цепи, как показано на рис. 7.17, но, как показывает опыт, такое простое согласующее устройство часто не обеспечивает удовлетворительных результатов. В этом случае согласующее устройство антенны выполняют по более сложной схеме. Наиболее распространены среди радиолюбителей согласующие устройства, выполненные в виде П-контура (рис. 7.18). Меньше среди радиолюбителей распространено согласующее устройство на параллельном контуре и емкости, включенной последовательно с антенной (рис. 7.19).

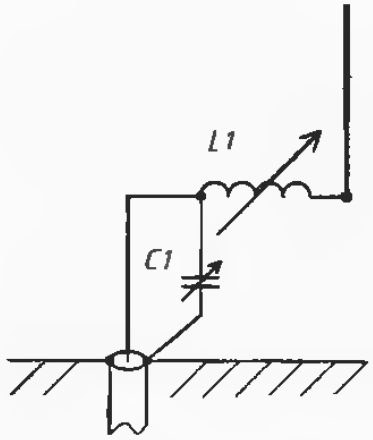


Рис. 7.17. Простое согласующее устройство

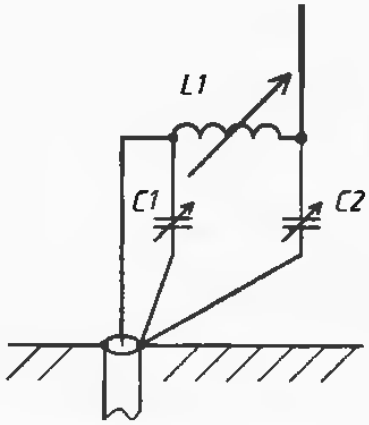


Рис. 7.18. Согласующее устройство, выполненное в виде П-контура

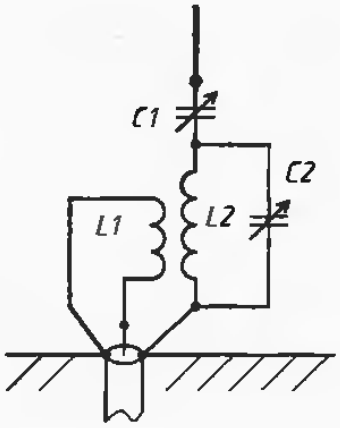


Рис. 7.19. Согласующее устройство не параллельном контуре

Разберем работу каждого из этих согласующих устройств более подробно. Согласующие устройства, показанные на рис. 7.17 и 7.18, могут обеспечить трансформацию сопротивлений 1:10. Следовательно, при использовании коаксиального

кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом, высокое входное сопротивление антенны, допустим 500 Ом, возможно удовлетворительно согласовать с этим кабелем. Но при дальнейшем увеличении коэффициента трансформации КПД этих устройств падает. Эти согласующие устройства хорошо трансформируют активные части нагрузок, с реактивными они справляется хуже.

Емкостная составляющая антенны входит в состав конденсатора *C2*, входящего в состав согласующего устройства, показанного на рис. 7.18.

В результате этого П-контур часто используют для согласования коротких штырей, которые имеют малое сопротивление излучения (менее 10 Ом) и значительную емкостную составляющую импеданса. В этом случае происходит согласование «наоборот» большого значения сопротивления коаксиального кабеля (50 или 75 Ом) в малое сопротивление укороченной антенны (5...10 Ом). В профессиональной антенной технике обычно стараются по возможности не применять электрически короткие штыри, а если их используют, то применяют эффективные схемы для компенсации реактивной составляющей их входного сопротивления и эффективного согласования с фидером.

Более универсальной является схема, показанная на рис. 7.19, которая «справляется» как с индуктивной, так и с емкостной составляющей нагрузки и может обеспечить коэффициент трансформации более 10. Эта схема хорошо справляется с согласованием как низкоомных, так и высокоомных нагрузок. Согласующее устройство на параллельном контуре не боится наличия реактивной составляющей любого знака во входном сопротивлении антенны.

При наличии индуктивной составляющей в импедансе штыря, согласующее устройство на основе L и П-контура будет работать хуже по сравнению с согласующим устройством, схема которого приведена на рис. 7.19. Индуктивную составляющую в своем входном сопротивлении могут иметь удлиненные вертикальные антенны.

Расчет подобных типов согласующих устройств достаточно подробно приведен в [1].

7.10. Согласование трансформирующей цепью

Обычно вертикальная антенна, выполненная радиолюбителем по какому-нибудь описанию, имеет входное сопротивление, немного отличное от волнового сопротивления коаксиального кабеля, который рассчитан для использования с ней. Отличие реального и теоретического сопротивления вертикальной антенны происходит из-за множества факторов, влияющих на антенну при ее установке в реальных условиях. Как правило, учесть все эти факторы в радиолюбительских условиях невозможно.

Если затруднительно осуществить коррекцию входного сопротивления антенны указанными выше способами — изменением физической длины штыря, подстройкой его электрической длины в резонанс с помощью конденсатора, или катушки, или изменением угла наклона противовесов, то возможно осуществить согласование входного сопротивления антенны с коаксиальным кабелем ее питания с помощью трансформирующей LC-цепи. Схема цепи показана на рис. 7.20.

Эта цепь трансформирует высокое сопротивление *R1* в более низкое по величине сопротивление *R2*. Описания принципов работы этой трансформирующей цепи были неоднократно приведены в различных справочниках по электро- и радиотехнике. Раньше, когда в разных частях СССР (иногда даже в разных районах одного города!) использовалось два напряжения в электрической сети — 220 и 127 В, даже выпускались переходники для электрических лампочек, позволяющие питать лампочку на 127 В (малое сопротивление *R2*) от напряжения 220 В. Эта трансформирующая цепь может быть

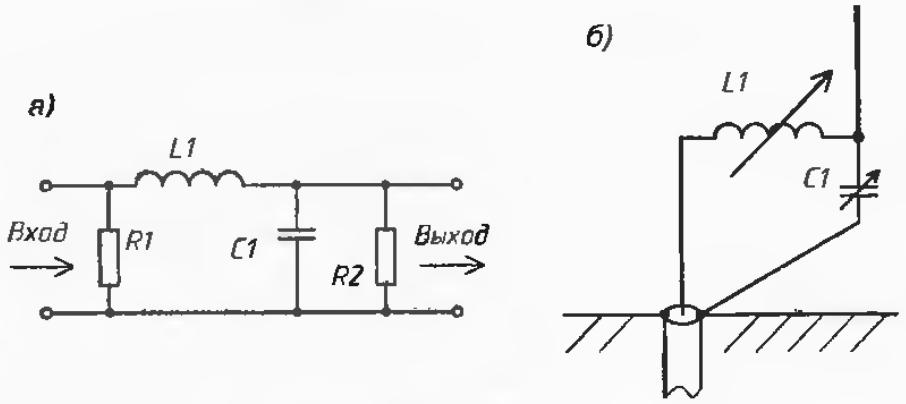


Рис. 7.20. Трансформирующая LC-цепь

рассчитана нв согласование нагрузок, имеющих как комплексное, так и чисто активное сопротивление. Но расчет цепи для согласования комплексных сопротивлений более сложен, чем для согласования только активных сопротивлений. Поэтому обратимся к цепи, предназначенной для согласования только активных нагрузок.

Расчет трансформирующей LC-цепи, которая согласует активные сопротивления, оптимвльно применимый в радиолюбительских условиях, приведен в [2]. Особенностью этого расчета является использование графического метода, с помощью которого можно быстро и достаточно точно определить парамвтры этой LC-цепи.

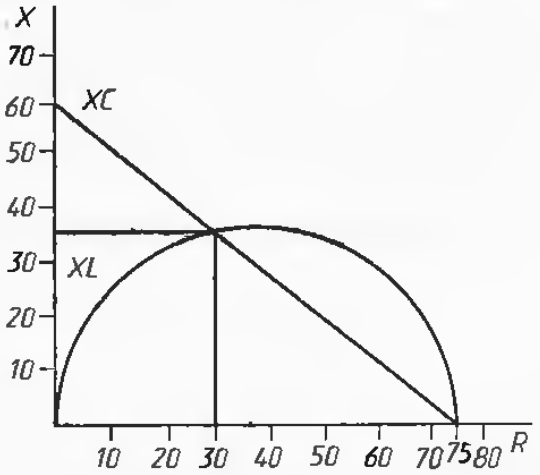


Рис. 7.21. Пример согласования с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом

Рассмотрим, как это можно осуществить. Допустим, при измерениях входного сопротивления антенны с помощью высокочастотного моста было получено значение входного сопротивления антенной системы, равное 30 Ом. В нвличии радиолюбителя имеется коаксиальный кабель с волновым сопротиалением 75 Ом. Для определения параметров согласующей LC-цепи для этого случая обратимся к графику на рис. 7.21.

На этом рисунке в одинаковых масштабах по горизонтальной оси расположены значения активного сопротивления, а по ввртикальной оси — реактивного. Диаметр окружности активного сопротивления равен в масштабе, отложенному по горизонтали, значению волнового сопротивления коаксиального кабеля.

Для расчета параметров согласующей цепи восстановим из точки 30 Ом перпендикуляр до его пересечения с окружностью волнового сопротивления коаксиального кабеля. Через эту точку и точку 75 Ом, лежащую на оси *X*, проведем прямую линию. Пересечение этой прямой с вертикальной осью дает значение реактивного сопротивления конденсатора согласующей цепи. Теперь проведем через точку пересечения прямой, перпендикулярной оси *X* в точке 30 Ом, с окружностью волнового сопротивления линию параллельно оси *X* до ее пересечения с осью *Y* Нв этой оси получим значенив индуктивного сопротивления катушки

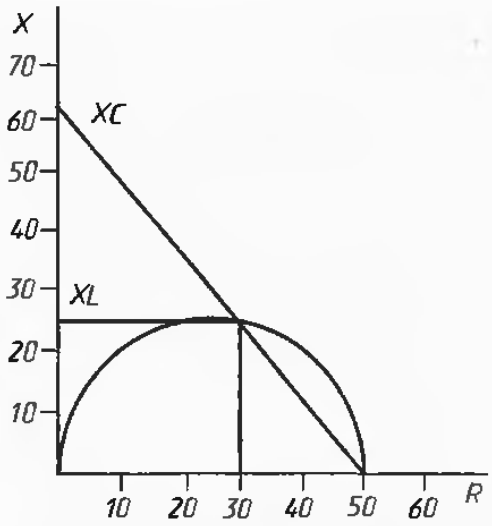


Рис. 7.22. Пример согласования с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом

Если радиолюбитель будет использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, то аналогичные построения необходимо провести относительно окружности волнового сопротивления 50 Ом. Пример подобного построения показан на рис. 7.22. Для определения значения реактивностей для разных диапазонов и конструктивных параметров катушки можно пользоваться общеизвестными формулами.

Конденсатор и катушку необходимо подключать к штырю антенны выводами минимальной длины. Необходимо с помощью высокочастотного моста измерить входное сопротивление системы штырь антенны — LC-цепь и определить ее степень согласования с коаксиальным кабелем питания антенны. В необходимых случаях, может быть, придется произвести подстройку согласующей цепи. Катушку индуктивности можно подстроить сжатием или растяжением витков, или изменением количества ее витков. В некоторых случаях может потребоваться небольшая подстройка емкости конденсатора. Трансформирующая цепь, расположенная на антенне, должна быть защищена от воздействия на нее атмосфврных воздействий. Катушка и конденсатор, использувмые для построения согласующей цепи, должны быть использованы с максимально возможной добротностью.

7.11. Вертикальные антенны возимых служебных УКВ радиостанций

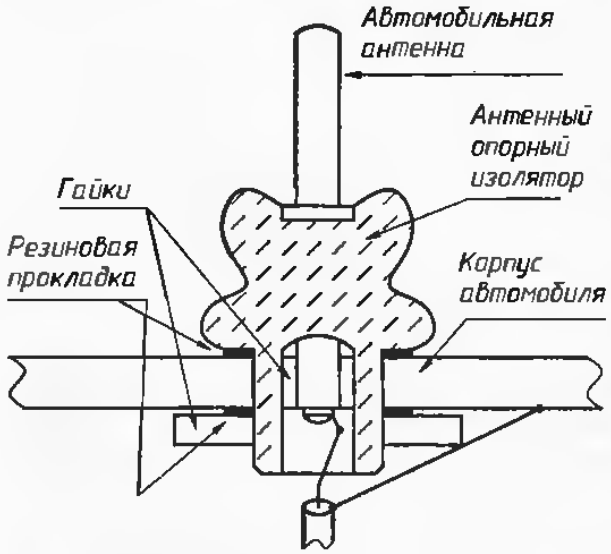


Рис. 7.23. Четвертьволновая антенна служебной УКВ радиостанции

В реальных конструкциях антенн служебных УКВ радиостанций используют почти все рассмотренные выше методы согласования входного сопротивления антенной системы с волновым сопротивлением коаксиального кабеля. Одной из наиболее распространенных конструкций антенн передвижных автомобильных радиостанций является антенна с непосредственным подключением коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом к четвертьволновому штырю, как показано на рис. 7.23.

В этом случае центральная жила коаксиального кабеля подключается к штырю антенны, а оплетка кабеля — к металлическому кольцу, которое обеспечивает хороший контакт оплетки коаксивльного кабеля с корпусом автомобиля. Хотя теоретически входное сопротиаление такой антенны отличается от 50 Ом и близко к 36 Ом, но на практике получается относительно хорошее согласование антенной системы с коаксиальным кабелем питания и с выходным каскадом передатчика. Такие антенны используются, например, в возимых УКВ радиостанциях типа «Маяк», «Сап-

фир». В УКВ радиостанциях типа «Виола» используется удлиненный штырь совместно с укорачивающим конденсатором постоянной емкости. К сожалению, невысокое качество этого конденсатора и непродуманное его размещение часто приводят к повреждению и обрыву конденсатора и как следствие этого — к выходу из строя антенной системы. При движении автомобиля штырь антенны накапливает статическое электричество, которое образуется при его трении о воздух. В результате этого часто происходит пробой этого конденсатора или непредсказуемое изменение его емкости. Измвнение емкости происходит вследствие флуктуации уровня постоянного напряжения на его ппастинах при движении автомобиля. По непонятным причинам антенны с таким браком выпускались в течении многих лет.

Согласование входного сопротивления четвертьволновой штыревой вертикальной антенны с помощью четвертьволнового трансформатора из коаксиального кабеля используется в возимых УКВ радиостанциях типа «Папьма». Надо признать, что эта конструкция УКВ антенн передвижных радиостанций зарекомендовала себя одной из лучших в работе. В некоторых типах автомобильных вертикальных антенн СВ диапазона, выполненных на магнитной основе, я встречал согласование штыря антенны с помощью трансформирующей LC-цепи, которая была описана в предыдущем параграфе. В некоторых конструкциях этих антенн была возможна оперативная подстройка индуктивности с целью оптимального согласования коаксиального кабеля с антенной системой при реальном размещении антенны на корпусе автомобиля.

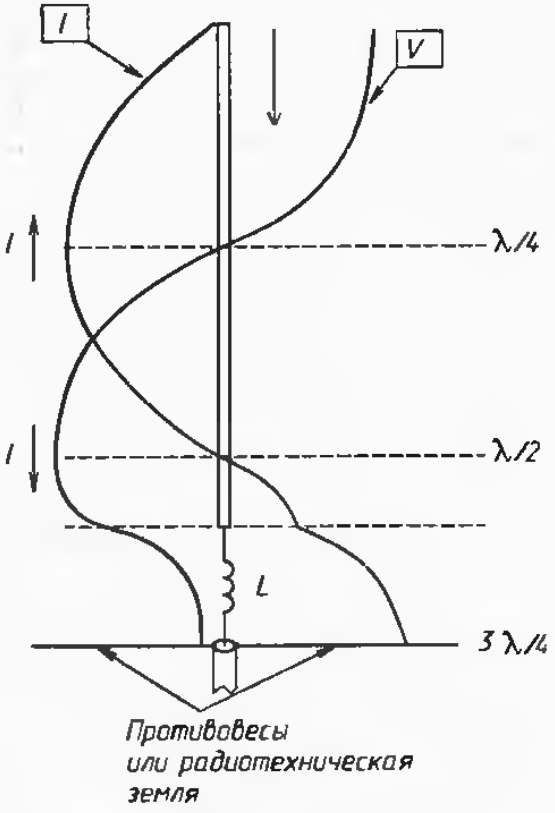


Рис. 7.24. Антенна возимой УКВ радиостанции длиной 3/4 λ

Для возимых УКВ радиостанций FT2011 (фирма YAESU) используется антенна физической длиной чуть меньше 3/4λ. Согласование входного сопротивления антенны с волновым сопротивлением коаксиального кабеля производится удлиняющей катушкой, помещенной в основании антенны. Необходимо признать, что такой метод построения антенны возимой УКВ радиостанции является очень эффективным. На рис. 7.24 показано распределение тока и напряжения в антенне и условное направление тока в частях антенн.

Как видно из рис. 7.24, часть антенны *L*, в которой протекает ток, находящийся в противофазе току, протекающему в части антенны длиной λ, является катушкой. Излучение катушки невелико, и она не может эффективно взаимодействовать (вернее противодействовать) с излучением от полуволновой части антенны. Как результат: такая антенна работает весьма эффективно, обеспечивает большую дальность связи даже при использовании ее на магнитной основе.

Согласование входного сопротивления антенны углом наклона противовесов используется в некоторых военных возимых УКВ станциях. Мне приходилось видеть такие антенны с противовесами, расположенными под углом как 135°, так и 180°, которые были установлены на небольшой мачте на высоте около 1 м относительно крыши автомобиля связи. Используются такие антенны на кораблях

При построении антенн стационарных УКВ станций примвняют все указанные выше методы согласования. Особенностью этих антенн является обязательное заземление штыря антенны по постоянному току на мачту. Если вы где-либо встретите стационарную вертикальную коммерческую антенну, в которой не произведено заземление штыря на мачту, сразу же отказывайтесь от ее использования. Такая антенна может не только повредить аппаратуру, подключенную к ней, но и вызвать поражение оператора при работе с антенной в грозовой и предгрозовой период.

Наиболее просто заземление по постоянному току осуществимо для стационарных УКВ антенн при помощи четвертьволнового изолятора. Этот метод заземления антенн по постоянному току используется во многих коммерческих УКВ антеннах. Упрощенная конструкция антенны стационарной УКВ станции «Маяк» показана на рис. 7.25. Внешний четвертьволновый штырь антенны заземлен на мачту с помощью четвертьволнового изолятора, для питания антенны используется 50-омный кабель. Входное сопротивление антенны согласуется с волновым сопротивлением коаксиального кабеля углом наклонв противовесов.

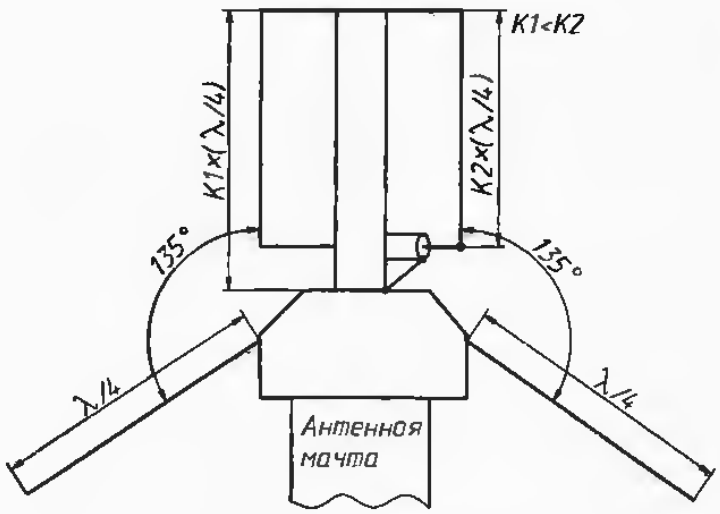


Рис. 7.25. Стационарная антенна УКВ станции «Маяк»

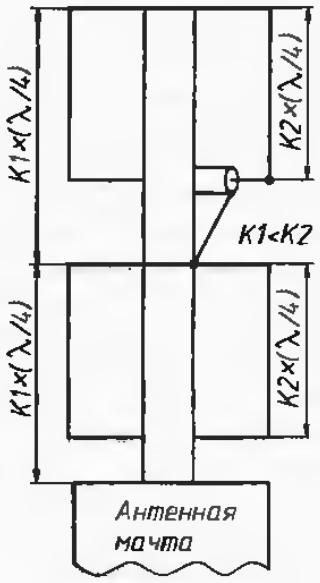


Рис. 7.26. Стационарная антенна УКВ станции «Виола»

Упрощенная конструкция антенны стационарной УКВ радиостанции с противовесами, расположенными под углом 180°, используемая в стационарных станциях типа «Пальма», «Виола», показана на рис. 7.26. Четвертьволновый изолятор, находящийся внутри вибраторов антенны, имеет длину, немного большую по сравнению с антенной. Это происходит из-за разных значений коэффициента укорочения для трубок различного внешнего диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. – Киев Техніка. — 1984. — 264 с.

2. Поляков В. (RA3AAE) Согласующая LC-цепь // Радио. — № 10. -- 1999. -- С. 62

Часть 2
АНТЕННЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Антенны бегущей волны включают в себя большой класс антенн. Это антенны Бевереджа, ромбические антенны, антенны типа T2FD и некоторые другие типы антенн. Антенны бегущей волны — это широкополосные антенны, которые могут обеспечить работу на нескольких или даже на всех любительских диапазонах. В городских условиях ограниченного места для радиолюбителя часто возможна установка только одной антенны, и эта антенна может быть антенной бегущей волны.

В этой части рассмотрена антенна T2FD. Эта антенна является одной из популярных антенн бегущей волны среди радиолюбителей. Приведено всестороннее описание этой антенны, даны теория ее работы, условия эффективного использования, приведены практические рекомендации по изготовлению и настройке. Это позволит радиолюбителю устанавливать антенну T2FD в соответствии с его реальными возможностями.

Для тех радиолюбителей, кто испытывает дефицит места для установки антенны T2FD, приведено описание практических конструкций антенн Бевереджа, предназначенных для установки в ограниченных условиях города. Приведена конструкция простой фазированной антенны Бевереджа, позволяющей осуществить направленную работу.

В этой части дано описание подземных антенн. Подземные антенны являются антеннами бегущей волны. Несмотря на их низкую эффективность эти антенны ранее находили применение в глобальной радиосвязи и навигации. Однако с развитием спутниковой связи их в настоящее время практически не используют, и подземные передающие центры как в России, так и в других странах в основном закрыты. Но радиолюбители вполне могут использовать подземные антенны в своих экспериментах.

8. АНТЕННА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ T2FD

При дефиците места в городских условиях трудно разместить «парк» антенн, каждая из которых будет работать на своем диапазоне волн. Поэтому среди радиолюбителей являются популярными широкополосные вибраторные антенны бегущей волны. Они не требуют много места для своей установки, и в то же время одна антенна может обеспечить весьма удовлетворительную работу в эфире на всех любительских диапазонах.

8.1. Широкополосный нагруженный вибратор

Широкополосный нагруженный вибратор был изобретен в те, уже далекие для нас, 30-е годы XX века. На рис. 8.1 показан вид классического нагруженного вибратора. Такую антенну использовали для обеспечения радиосвязи на радиоцентрах во время Второй мировой войны. Была установлена на некоторых морских кораблях.

Для уменьшения занимаемого антенной места эту антенну часто располагали наклонно, под углом около 30° к поверхности земли или палубе корабля. Такой вариант антенны стал известен как «замкнутый наклонный петлевой вибратор», или сокращенно TTFD (Tilted Terminated Folded Dipole). Обычно антенну называют несколько проще: T2FD. Под этим именем она известна среди европейских радиолюбителей. На рис. 8.2 показана классическая установка антенны T2FD.

Наклонная установка антенны имеет преимущества перад горизонтальной установкой. Во-первых, уменьшается место, необходимое для установки такой антенны, а во-вторых, при излучении антенны появляется существенная составляю-

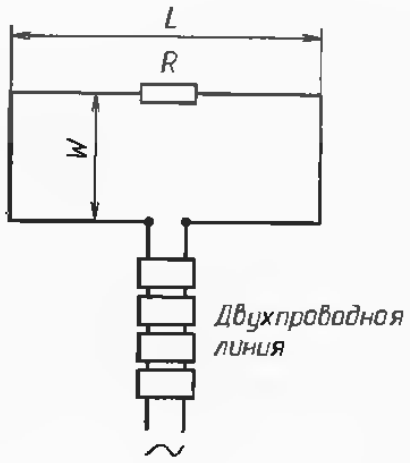


Рис. 8.1. Классический широкополосный нагруженный вибратор

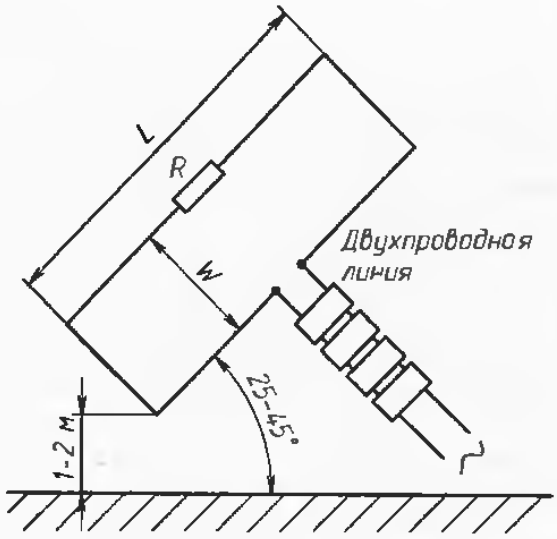


Рис. 8.2. Классическая антенна T2FD

щая электромагнитной волны, имеющая вертикальную поляризацию. Все это привело к тому, что во всем мире стала более распространена наклонная установка широкополосного нагруженного вибратора, или более используема антенна T2FD по сравнению с горизонтальным широкополосным нагруженным вибратором.

После окончания Второй мировой войны радиолюбители продолжили свои эксперименты с антеннами. Не могла остаться в стороне от этих экспериментов и антенна T2FD. В радиолюбительской литературе эта антенна была впервые описана в США радиолюбителем W3HH в 1949 году в литературе [1]. С тех пор появилось сотни публикаций, посвященных этой удивительной антенне, в радиолюбительских журналах всех стран. На Североамериканском континвнте эта антенна известна под названием «антенна W3HH». Название антенны дано по позывному радиолюбителя, много сделавшего для ее внедрения в радиолюбительскую практику. Давайте разберем основные особенности антенны T2FD.

8.2. Размеры антенны T2FD

Размеры антенны T2FD, показанной на рис. 8.2, можно опраделить по приведенным ниже формулам:

$L = 100/F$;

$W = 3/F$;

где:

L — длина антенны, м;

F — нижняя частота работы антенны, МГц;

W — расстояние между проводниками антенны, м.

Формулы эти определены экспериментально. Считается, что антенна T2FD, рассчитанная по этим формулам, будат удовлетворительно работать в пятикратном интервале частот. Давайте для примера рассчитаем антенну T2FD для нижнего диапазона работы 20 метров:

$L = 100/14 = 7{,}14$ м;

$W = 3/14 = 0{,}21$ м.

Итак, длина антенны составляет 7,14 м, расстояние между проводниками антенны составляет 21 см. Антенна будет удовлетворительно работать в диапазоне частот от 14 МГц до 70 МГц (14 · 5 = 70). Это не значит, что антенна будет неработоспособна на частотах ниже 14 МГц и выше 70 МГц. Конечно нет, антенна вполне будат там работать! Но на частотах ниже 14 МГц эффективность ее работы начнет резко уменьшаться, диаграмма направленности приближается к шарообразной. На частотах выше 70 МГц эффективность работы антенны не будат педать столь сильно, но возможно резкое увеличение КСВ на некоторых участках частот. Диаграмма направленности антенны представляет собой весьма сложную и неопределенную фигуру.

Антенна T2FD очень неприхотлива к своему изготовлению. Благодаря ее большой широкополосности, размеры антенны могут отличаться от рассчитанных по приведанным здесь формулам. Ширина антенны может отличаться в меньшую сторону на 30% и до 40% в большую сторону. Длина антенны может отличаться в меньшую сторону на 10% и до 40% в большую сторону. Это позволяет упростить требования к точности изготовления антенны T2FD.

В табл. 8.1 приведены денные для изготовления антенны T2FD для работы на любительских диапазонах, которые были рассчитаны на основании приведенных выше формул. Антенна вполне будат работоспособна также на частотах выше расчетных. Например, антенна, рассчитанная для оптимальной работы в диапазоне 1,9...9,5 МГц, вполне прилично будет работать на верхних частотах 9,5...30 МГц.

Таблица 8.1

Размеры антенны T2FD для разных диапазонов

Диапазон рабочих частот, МГц	Длина *L*, м	Ширина *W*, м
1,9...9,5	52,63	1,57
3,5.. 17,5	28,57	0,85
7,0. .35	14,28	0,43
10 . 50	10	0,3
14...70	7,14	0,21
18...90	5,5	0,16
21 ..105	4,76	0,14
25...125	4	0,12
28 ..130	3,84	0,11
28...140	3,56	0,1
50. 250	2	0,06

8.3. Усиление антенны T2FD

Усиление любой антенны можно определить согласно приведенной ниже формулировке.

Усиление антенны — это отношение плотности потока мощности, создаваемой данной антенной в дальней зоне в данном направлении, к плотности потока мощности, создаваемой идеальной изотропной антенной, при условии, что мощности, подводимые к антеннам, одинаковы. Иногда вместо изотропной антенны применяют другую, диполь или четвертьволновый вертикальный вибратор, установленный в известных условиях.

Как видно из этого, трудно достоверно определить усиление антенны T2FD. Это происходит вследствие того, что ее диаграмма напрааленности очень сильно изрезана, трудно определить, гда в ней главный, а где побочный лепесток. Но опыт радиолюбителей показывает, что на нижней частоте антенна обеспечивает уровень принимаемого (или передаваемого) на 5...7 дБ ниже относительно полуволнового диполя. Следовательно, «усиление» этой антенны будат минус 5...7 дБ. На верхних частотах работы антенны ее усиление, определенное согласно вышеизложенной методике, может составлять –3 ... –1 дБ относительно полуволнового диполя. Конечно, правильнее было бы говорить об ослаблении, а не об усилении этой антенны.

Но многие другие суррогатные антенны, используемые радиолюбителями, обеспечивают еще меньшее усиление (или еще большее ослабление), так что антенна T2FD на их фоне выглядит весьма неплохо.

8.4. Входное сопротивление и нагрузка антенны T2FD

Долгое время считали, что сопротивление нагрузки антенны T2FD должно быть равно волновому сопротивлению фидара антенны. На практике же получается, что оптимальное сопротивление нагрузки должно быть немного больше, чем волновое сопротивление линии питания антенны. В табл. 8.2 приведены значения входного сопротивления антенны, показанной на рис. 8.2, в зависимости от сопротивления ее нагрузки [2].

В радиолюбительской литературе не рекомендуется использовать антенну T2FD, имеющую входное сопротивление 300 Ом. Считается, что оптимально работает антенна, имеющая входное сопротивление 600 Ом.

Таблица 8.2

Входное сопротивления антенны T2FD в зависимости от сопротивления ее нагрузки

Волновое сопротивление линии питания антенны, Ом	Оптимальное сопротивление нагрузки антенны, Ом	Коэффициент трансформации для фидера 50 Ом	Коэффициент трансформации для фидера 75 Ом
600	650	12:1	8:1
450	500	9:1	6:1
300	390	6.1	4.1

Но в давно устоявшиеся основы работы антенны T2FD внес новые данные L. B. Cebik. В его работе [3] был опраделен с помощью моделировщика антенн КСВ для антенны T2FD, имеющей нагрузку 390 Ом и фидер питания с волновым сопротивлением 300 Ом. Оказалось, что КСВ такой антенны на некоторых участках диапазона ее работы составляет величину 9:1! Вследствие этого стало понятно, почему не рекомендовалось использовать антенну с фидером 300 Ом и нагрузочным резистором 390 Ом. В работе [3] было определено оптимальное сопротивление нагрузки и оптимальное волновое сопротивление фидара для антенны T2FD, рассчитанной по приведенным в разделе 8.2 формулам. Оказалось, что оптимальное сопротивление нагрузки антенны T2FD состааляет 850 Ом, оптимальное волновое сопротивление даухпроводной линии при таком сопротивлении нагрузки составляет 900 Ом. Такая антенна обеспечивает КСВ в диапазоне ее рабочих частот не более 2:1.

На пути практической реализации этой антенны сразу возникает одна главная трудность. Это двухпроводная линия с волновым сопротивлением 900 Ом. Если мы рассчитаем размеры двухпроводной линии с воздушной изоляцией, обладающей таким волновым сопротивлением, то получим, что отношение между радиусом проводника, из которого сделана линия, и расстоянием между проводниками должно превышать 1000! Да, на практике это будет очень трудно реализуемая даухпроводная линия... Даже если для ее изготовления использовать диэлектрик, размеры такой линии все равно будут огромными.

В радиотехнической практике наибольшее распространение имеет двухпроводная линия с волновым сопротивлением 300 или 450 Ом. Поэтому, исходя из реально доступных материвлов, радиолюбители конструируют такие антенны.

8.5. Нагрузочный резистор антенны T2FD

Не вся высокочастотная мощность, которая подводится к антенне, идет на излучение радиоволн. Некоторая часть этой мощности поглощается в нагрузке антенны и бесполезно рассеивается в тепло. В многочисленных публикациях, посвященных антенне T2FD, указывается, что для недежной работы антенны вполне достаточно, чтобы мощность рассеяния балластного резистора составляла не

менее 30 % от подводимой к антенне мощности. Используемый нагрузочный резистор должен быть безындукционным.

Выполнять этот нагрузочный резистор целесообразно набором высокоомных пленочных резисторов мощностью 2...5 Вт, включенных параллельно или последовательно до необходимого сопротивления нагрузки. При этом необходимо следить за тем, чтобы была обеспечена необходимая суммарная мощность рассеяния. Например, если планируется, что в нагрузке будет рассеиваться 50 Вт мощности, необходимо использовать 25 двухваттных резисторов. Многие современные резисторы допускают кратковременную работу с рассеиваемой мощностью, в два-три раза превышающей их номинальную мощность рассеяния. Однако не стоит злоупотреблять этим при конструировании антенны T2FD. Замена сгоревшей нагрузки представляет собой неприятную процедуру, связвнную с опусканием антенны. Вследствие закона Мерфи антенна обычно выходит из строя или в тот момент, когдв она особенно нужна, например в период прохождения радиолюбительских соревнований, или в тот момент, когда погода не благоприятствует ремонту антенны. Поэтому лучше сразу установить нагрузку необходимой мощности и при работе антенны на передачу не превышать допустимую мощность, рассеиваемую в нагрузке.

Параллельное включение резисторов, составляющих нагрузку антенны, более предпочтительно, чем последовательное. Поскольку каждый резистор имеет собственную величину индуктивности, то при последовательном включении эта индуктивность может состааить существенную величину. При параллельном включении резисторов, составляющих нагрузку, их суммарная индуктивность уже будет несущественной. Праада, возрастет суммарная емкость нагрузки. Но в большинстве случаев резисторы имеют небольшую собственную емкость, которая лежит в пределах 2 пФ. Следовательно, суммарная емкость нагрузки, составленная из параллельно включенных резисторов, будат небольшая.

Другое, что не позволяет рекомендовать последовательное включение резисторов для выполнения нагрузки антенны T2FD, это то, что последовательное соадинение имеет более низкую недежность по сравнению с параллельным соединением. Действительно, наиболее распространенные неисправности резисторов — это или обрыв токопроводящего слоя вследствие превышения мощности рассеяния, или нарушение контакта между токопроводящим слоем и металлическими контактами резистора. При выходе из строя только одного резистора в нагрузке, составленной из последовательно включенных резисторов, вся нагрузка выходит из строя.

При выходе из строя одного резистора в нагрузке, составленной из параллельно включенных резисторов, балластная нагрузка антенны остается работоспособной, хотя ее сопротивление немного изменяется. Понятно, что при работе реальной антенны вполне вероятно превышение мощности рассеяния в нагрузке антенны и возможен выход из строя одного или нескольких резисторов, составляющих нагрузку. Вследствие атмосферных воздействий или при ударе молнии в антенну вполне возможен выход из строя резисторов, составляющих нагрузку. Поэтому использовать последовательное включение разисторов нагрузки можно только в крайнем случае.

Практически нагрузка антенны T2FD может быть выполнена так, как описано в главе 9, в параграфе «Городская антенна бегущей волны».

8.6. Мощность, рассеиваемая в нагрузке

В предыдущем параграфе было указано, что мощность, рассеиваемая в нагрузке антенны T2FD, составляет 30% от подводимой к ней мощности. Но, оказывается, это не совсем так. В работе [3] L. B. Cebik точно определил мощность рассеяния нагрузки антенны T2FD. Оказалось, что при работе антенны на нижних

частотах в нагрузочном резисторе может рассеиваться более 90% подводимой к антенне мощности! Исходя из этого, первая треть расчетного диапазона работы антенны T2FD, приведенной в табл. 8.1, на самом деле абсолютно неэффективна для работы антенны, так как основная мощность передатчика идет на нагрев балластного резистора. Следовательно, неэффективна работа этой антенны также на прием, поскольку энергия принятых антенной радиоволн рассеивается в нагрузке.

Мной тоже было замечено, что антенна T2FD в своем начальном диапазоне частот работает тихо на прием. При использовании ее в качестве приемной приходилось увеличивать усиление приемника. Из работы [3] понятно, что энергия принятых радиоволн просто бесполезно рассеивалась на нагрузочном резисторе антенны...

Данные по уровню рассеиваемой мощности на нагрузке антенны T2FD, приведенные в [3], сильно удивили меня. Было решено экспериментально определить мощность, рассеиваемую в нагрузке антенны. Для этого мной была подаешена экспериментальная антенна T2FD длиной пять метров. Вид установки экспериментальной антенны показан на рис. 8.3.

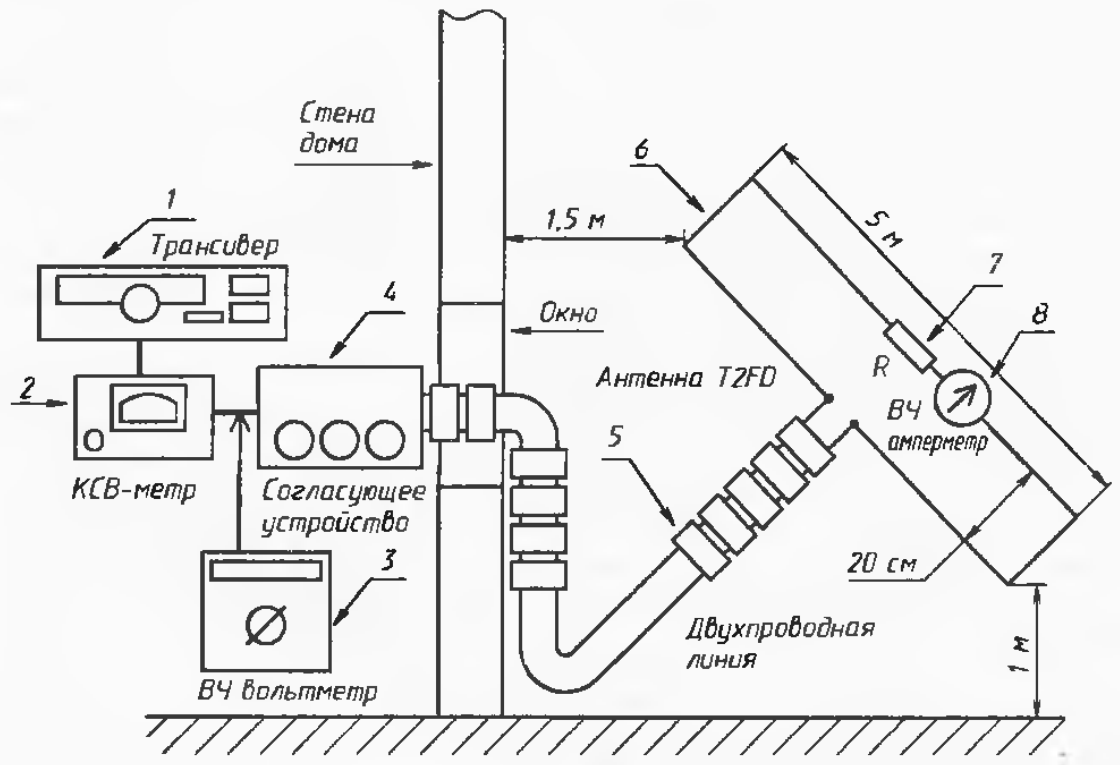


Рис. 8.3 Установка экспериментальной антенны T2FD

Для питания антенны использовался трансивер *1*, который через КСВ-метр *2* был подключен к согласующему устройству *4*. При опытах с антенной был достигнут КСВ между трансивером и согласующим устройством, близкий к 1:1. На входе согласующего устройства был включен высокочастотный вольтметр *3*, с помощью которого можно было определить напряжение на входе согласующего устройства *4*. Зная напряжение, можно было определить мощность, которая поступала от трансивера в согласующее устройство. В качестве согласующего устройства мной были использованы самодельные согласующие устройства, описание которых приведено в [4], с. 194.

Перед проведением экспериментов был практически определен КПД моего согласующего устройства на всех частотах измерения. К согласующему устройству *4*

была подключена двухпроводная линия 5. Была использована стандартная двухпроводная линия с волновым сопротивлением 450 Ом. Эта двухпроводная линия подключалась непосредственно к антенне 6. Размеры антенны указаны на рис. 8.3. Последовательно с нагрузкой антенны 7 был установлен высокочастотный амперметр 8, который позволял определить ток, протекающий через нее. Нагрузка и амперметр располагались напротив окна так, что шкала прибора была мне видна. Это позволяло видеть, какой ток протекает через нагрузку. В качестве высокочастотного амперметра использовался самодельный прибор, схема которого приведена в [4], с. 77. Нагрузка антенны 7 была самодельной. Она состояла из четырех включенных параллельно резисторов сопротивлением 2 кОм и мощностью 2 Вт. Суммарное сопротивление этих резисторов было равно 500 Ом.

После проведения экспериментов мной был построен график зависимости рассеиваемой мощности в нагрузке антенны от частоты работы, который показан на рис. 8.4. График строился с учетом КПД согласующего устройства. При его построении не учитывалось затухание двухпроводной линии, которое имеет на этих частотах небольшую величину. Конечно, существуют и другие факторы, увеличивающие погрешность проводимых мной измерений, но их вклад в увеличение погрешности измерений, очевидно, невелик.

Рис. 8.4. График рассеиваемой мощности в нагрузке антенны

Антенна T2FD длиной пять метров рассчитана для работы на нижней частоте 20 МГц. Как видно из графика, на диапазоне 21 МГц в нагрузке рассеивается 65% мощности, подводимой к антенне. Нельзя ожидать высокой эффективности от антенны при таких уровнях потерь. Начиная от частоты 27 МГц уровень мощности, рассеиваемой в нагрузке антенны, не превышает 25% от подводимой к антенне мощности. Следовательно, для того чтобы уровень мощности, рассеиваемой в нагрузке антенны T2FD, не превышал 25%, ее длина должна составлять не одну треть от нижней длины волны работы антенны, а одну вторую. Следовательно, длину антенны T2FD (см. рис. 8.2) с минимальными потерями в нагрузке следует определять из следующих формул:

$L = 150/F$,

$W = 3/F$,

где:

L — длина антенны, м;

F — нижняя частота работы антенны, МГц;

W — расстояние между проводниками антенны, м.

Размеры антенны T2FD, рассчитанные согласно этим формулам, приведены в табл. 8.3. В нагрузке антенны, сделанной по размерам из этой таблицы, будет рассеиваться не более 25% мощности, подводимой к ней.

Таблица 8.3

Размеры антенны T2FD с низким уровнем потерь в балластном сопротивлении R

Диапазон рабочих частот, МГц	Длина L, м	Ширина W, м
1,9...9,5	79	1,57
3,5...17,5	43	0,85
7,0...35	21,4	0,43
10...50	15	0,3
14...70	10,7	0,21
18...90	8,3	0,16
21...105	7,14	0,14
25...125	8	0,12
26...130	5,76	0,11
28...140	5,35	0,1
50...250	3	0,06

8.7. Питание антенны T2FD

Для питания антенны T2FD оптимально использовать даухпроводную линию соответствующего волнового сопротивления (см. табл. 8.2). При использовании двухпроводной линии для питания антенны T2FD между трансивером, имеющим выходное сопротивление 50 Ом, и между двухпроводной линией необходимо включать согласующее устройство. Оно может быть выполнено по одной из схем, приведенных в литературе [4].

В настоящее время коаксиальный кабель распространен гораздо больше, чем даухпроводные линии. Поэтому вполне возможно использовать коаксиальный кабель для питания антенны T2FD. Согласование антенны с коаксиальным кабелем можно осуществить с помощью широкополосного трансформатора. В табл. 8.2 приведены значения коэффициента трансформации для коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом для антенн T2FD с разным входным сопротивлением.

К широкополосному трансформатору предъявляются сладующие требования. Во-первых, трансформатор должен выдерживать работу на высокочастотной мощности, которая подводится к антенне. Во-вторых, трансформатор должен обеспечивать работу в диапазоне частот работы антенны. Возможно использование как самодельных широкополосных трансформаторов, конструкция которых была неоднократно приведена в различной радиолюбительской литературе, так и широкополосных трансформаторов коммерческого изготовления. Сладует чрезвычайно серьезно подходить к конструированию самодельных широкополосных трансформаторов, предназначенных для питания антенны T2FD. Эта антенна имеет значительную реактивную состааляющую в своем входном сопротивлении. В зависимости от диапазона работы антенны эта реактивная составляющая может иметь как емкостную, так и индуктивную составляющую. Далеко не каждый самодельный трансформатор справится с такой нагрузкой.

Хочу привести пример из своего личного опыта работы с антеннами типа T2FD. На свою первую антенну T2FD я поставил самодельный широкополосный трансформатор от старой антенны Бевереджа, имеющей длину 80 м и размещенной на высоте 1,5 м от земли. Этот широкополосный трансформатор с коэффициентом трансформации 6:1 использовался для питания через коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом антенны Бевереджа, имеющей нагрузку 400 Ом. Для антенны Бевереджа КСВ не превышал 2,5:1 при работе антенн на диапазонах от 160 до 10 метров. При установке этого трансформатора в антенну T2FD, рассчитанную для работы на диапазонах 40—10 метров, КСВ на некоторых

любительских диапазонах достигал 5:1. Трансформатор при работе антенны T2FD на передачу сильно нагревался, чего с ним никогда не было при его работе с антенной Бевереджа. Только тщательный подбор высокочастотного ферритового кольца для широкополосного трансформатора, эксперименты с его намоткой позволили понизить КСВ антенны T2FD до уровня 2,5:1.

При использовании для питания антенны T2FD двухпроводной линии проблемы по согласованию антенны с трансивером при помощи согласующего устройства решаются гораздо проще. Поэтому могу рекомендовать для питания антенны T2FD использовать только двухпроводную линию. Применение широкополосного трансформатора можно рассматривать как компромиссный вариант питания антенны T2FD. Следует сразу же обратить внимание, что создание широкополосного трансформатора с коэффициентом трансформации 18:1, предназначенного для питания оптимальной антенны T2FD (рассчитанной в [3]) с помощью коаксиального кабеля волновым сопротивлением 50 Ом, является весьма нелегким делом...

8.8. Настройка антенны T2FD

Настройка антенны T2FD состоит в следующем. Во всем диапазоне частот работы антенны измеряют КСВ в коаксиальном кабеле антенны при питании ее по коаксиальному кабелю через широкополосный повышающий трансформатор. При питании антенны через двухпроводную линию при помощи согласующего устройства руководствуются достижением оптимальной работы этого устройства. Каждый радиолюбитель, использующий конкретное согласующее устройство, может сказать о нем, согласует или нет это устройство конкратную нагрузку.

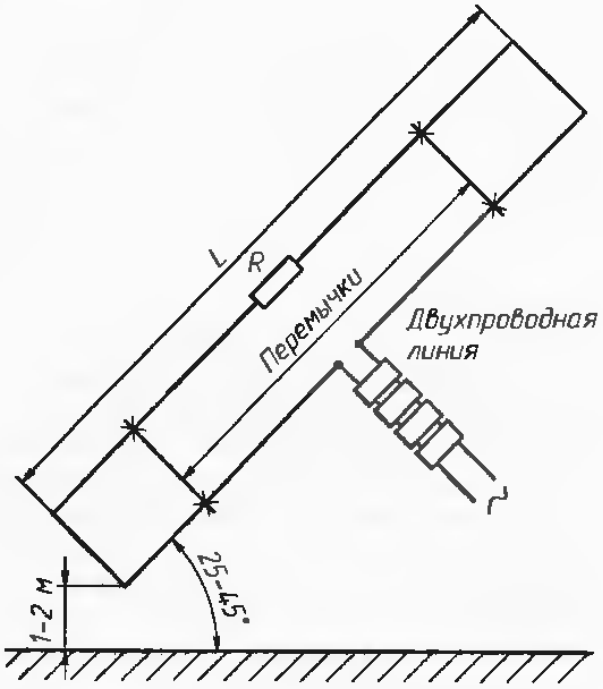


Рис. 8.5. Расположение перемычек

Во время настройки антенны добавляют или выкусывают резисторы, составляющие нагрузку антенны. Критерием настройки антенны будет минимальный КСВ на любительских диапазонах работы. При этом на соседних частотах, находящихся вне любительских диапазонов, КСВ антенны может быть достаточно высоким. Во время настройки для сдвига КСВ в нужную сторону, возможно, придется немного укоротить антенну с помощью симметрично расположенных перемычек, как показано на рис. 8.5. Желательно перемычки рвсполагать на одинаковом расстоянии от краев антенны. Но это условие не является обязательным. Если доступен только нижний край антенны, то можно устанввливать перемычку только на нем. Главнов в том, чтобы эта перемычка сдвинула минимумы КСВ антенны на участки любительских диапазонов частот.

8.9. Теория работы антенны T2FD

Выше был приведен большой практический материал о работе антенны T2FD. Давайте, основываясь на нем, разберем теоратические основы работы антенн T2FD. При этом практика будет хорошим подтверждением теории.

Итак, что же представляет собой антенна T2FD с теоратической стороны? Иногде антенну T2FD назыввют «суррогатной ромбической внтенной». И зто действительно так. Если мы постепенно начнем сжимать ромбическую антенну (рис. 8.6,а), то мы перейдем от вида, который имеет ромбическая антенна, к антенне T2FD (рис. 8.6,б, 8.6,в).

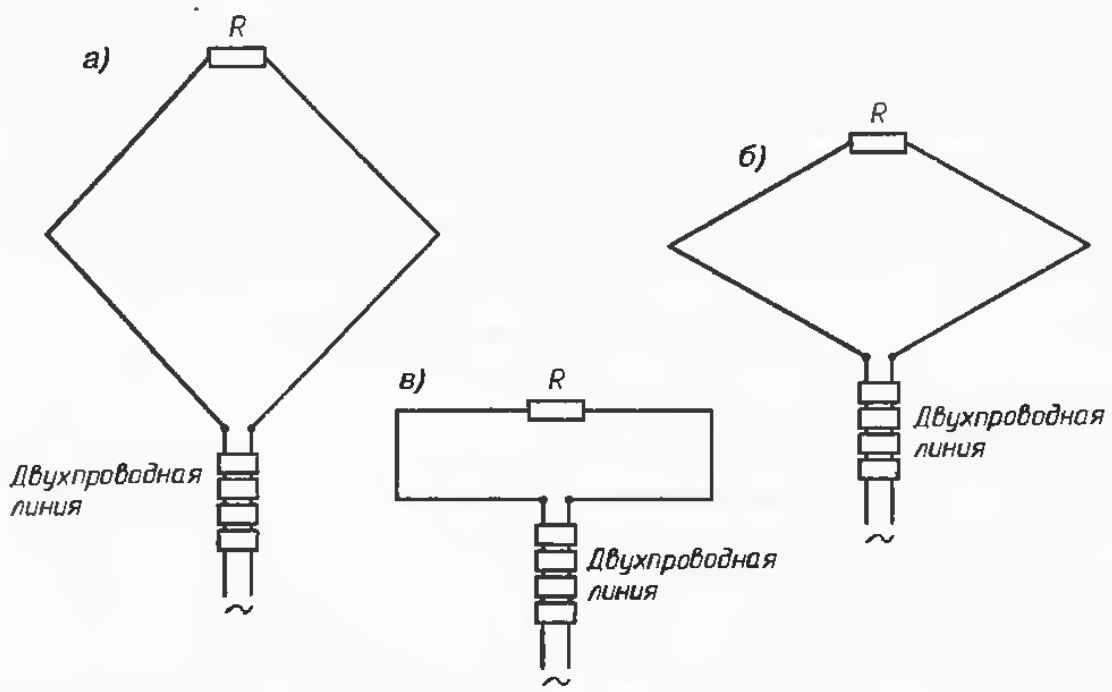


Рис. 8.6. Переход от ромбической ентенны к антенне T2FD

Но рвбота антенны T2FD в корне отличается от работы ромбической антенны. Провод ромбической антенны развернут в пространстве, и, следовательно, он эффективно излучает. Максимальное изпучение ромбической внтенны осуществляется от наиболее широкой ее части. Вследствие значительного излучения электромагнитной энергии проводниками ромбической антенны КСВ в линии питания антенны будет близок к значению 1:1. Действительно, та чвсть высокочастотной энергии, которая не будет излучена антенной, поглотится в балластном сопротивлении *R*. Даже если какая-то часть не излученной энергии и не поглотится в балластном резисторе *R*, а отразится от него нвзад, то при проходе к линии питания через антенну большая часть этой энергии все равно будет излучена. В результате мы получим увеличение заднего и боковых лепестков в диаграмме направленности антенны.

Из работы ромбической антенны понятно, что чем выше частота, которая подается на вход антенны, тем сильнее излучение антенны и, в общем случае, ниже уровень ее заднего лепвстка и ближе КСВ в линии питания к значению 1:1. Действительно, чем больший путь пройдет высокочвстотный ток вдоль проводников, составляющих антенну, тем больше будет излучение от этого проводника. При прохождении отраженной от нагрузки волны к линии питания большая часть высокочастотной энергии будет излучена и никогде не достигнет точек питания антенны.

Работа внтенны T2FD коренным образом отличается от работы ромбической антенны. Режим работы антенны T2FD обуслоален тем, что ее провод свернут. Рассмотрим классическую антенну T2FD, которая показана на рис. 8.2. От классической внтенны T2FD, показанной на рис. 8.2, можно перейти к эквивалентной схеме антенны T2FD. Плечи антенны T2FD представляют собой замкнутые на концах отрезки двухпроводной линии. Волновое сопротивление этой линии зависит от расстояния между ее проводниками. Следовательно, на эквивалентной схеме антенну T2FD можно представить деумя замкнутыми отрезками двухпроводной

линии и сопротивлением нагрузки, подключенным к ним. Эквивалентная схема антенны T2FD показана на рис. 8.7.

Из теории двухпроводных линий передач мы знаем, что замкнутая на конца двухпроводная линия обладает большим сопротивлением, если в ней укладывается нечетное количество четвертей длин волн. И наоборот, замкнутая на конце четвертьволновая линия обладает очень малым сопротивлением, практически равному сопротивлнию потерь в этой линии, если на ее длине укладывается целое количество полуволн. Следовательно, при изменении частоты, подающейся в антенну T2FD, на тех частотах, где укладывается нечетное количество четвертей длин волн, замкнутая линия будет отключать нагрузку, а на частотах, где укладывается целое количество полуволн, подключать.

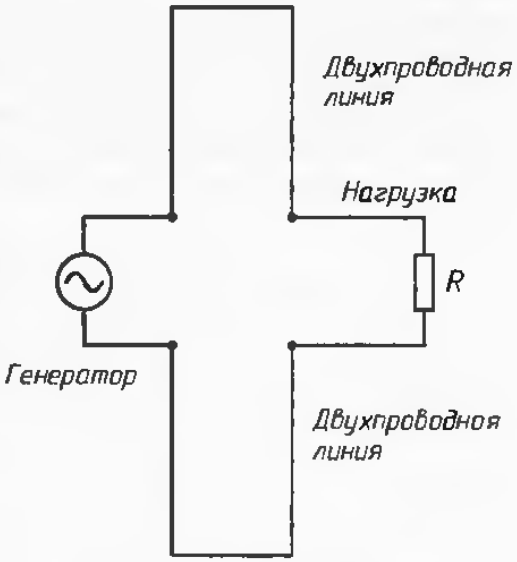


Рис. 8.7. Эквивалентная схема антенны T2FD

Исходя из этого, можно построить теоретический график КСВ антенны. Он показан на рис. 8.8. Он состоит из минимумов и максимумов. Первый максимум КСВ будет на частоте *F*, равной первой частоте настройки в резонанс четвертьволнового резонатора. Далее с периодом *F* будут следовать минимумы КСВ, где двухпроводная замкнутая линия эквивалентна полуволновому повторителю, и максимумы КСВ, где замкнутая линия ведет себя как четвертьволновой изолятор.

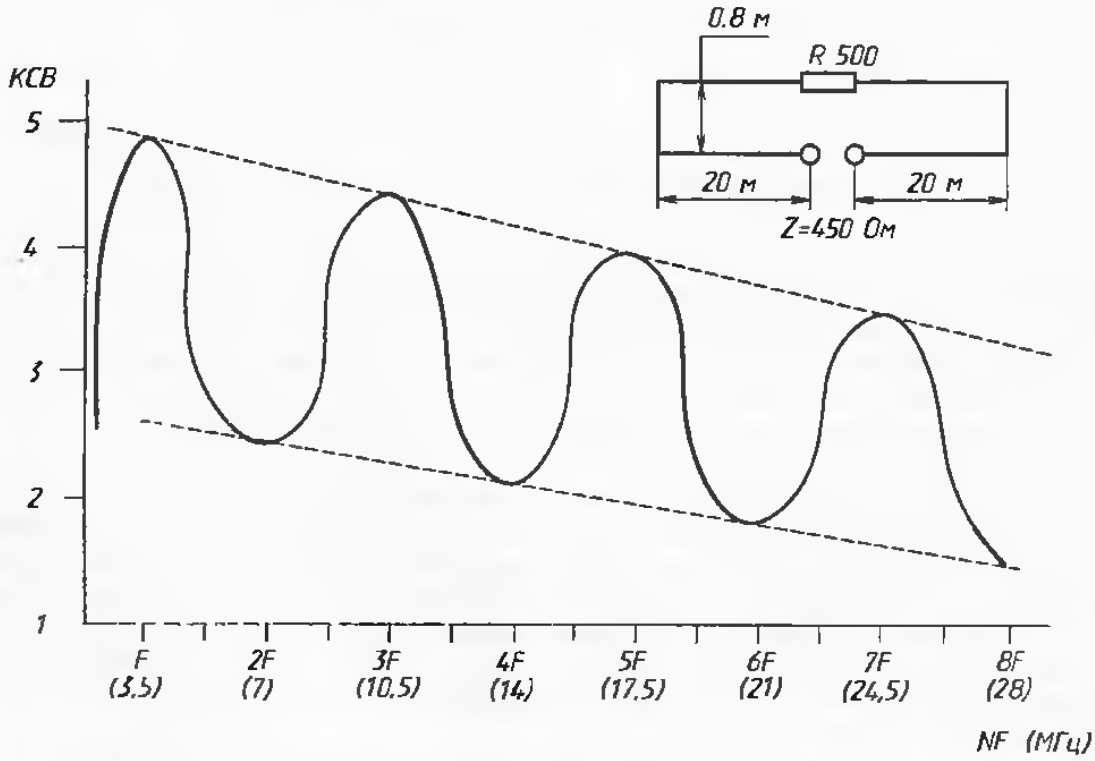


Рис. 8.8. График КСВ антенны T2FD

Чем выше излучение линии, тем меньше будет отношенив между минимумами и максимумами значения КСВ. Очевидно, чем выше частота работы антенны, тем

больше излучения происходит от двухпроводной линии, составляющей антенну. Следовательно, с возрастанием частоты передатчика уменьшается соотношение между максимумами и минимумами КСВ антенны T2FD. Также очевидно, что максимум рассеиваемой мощности в нагрузке будет на минимумах КСВ в антенне, а минимум — на максимумах КСВ. На частотах, где длина резонатора ниже первого четвертьволнового резонанса закрытой линии, излучение этой линии в общем случае невелико и в нагрузке рассеивается значительная мощность. Теоретический график мощности, рассеиваемой в нагрузке антенны T2FD, показан на рис. 8.9.

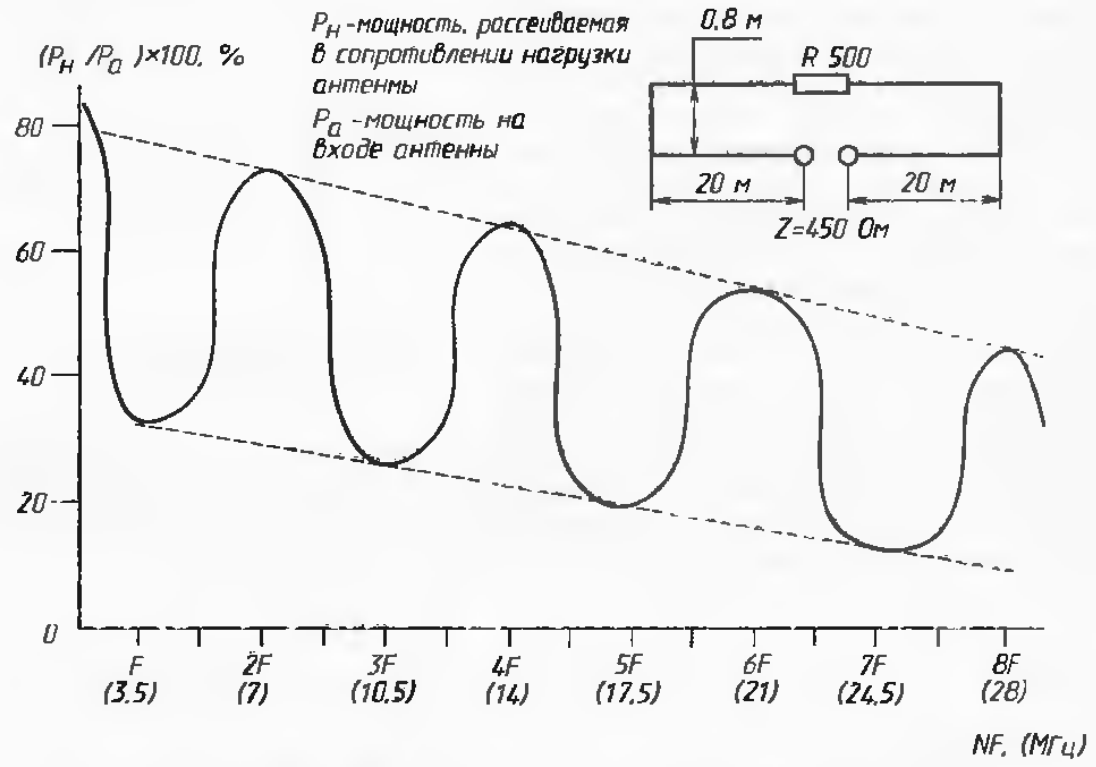


Рис. 8.9. График мощности, рассеиваемой в нагрузке антенны T2FD

Рассмотрим влияние расстояния между проводниками антенны на ее работу. Конечно, чем больше расстояние между проводниками, составляющими антенну T2FD, тем выше ее излучение. Следовательно, тем меньше значение КСВ в его максимумах, меньше отношение между минимальным и максимальным значением КСВ. На рис. 8.10 показаны графики КСВ для узкой, с небольшим расстоянием между проводниками, и широкой, с большим расстоянием между проводниками, антенны T2FD.

Интересно, а подтверждает ли эти теоретические объяснения практическая работа антенны T2FD? Если мы посмотрим на график КСВ реальный антенны T2FD, мы обязательно увидим эти максимумы и минимумы КСВ. Расстояние между максимумами-минимумами действительно соответствует частоте первого резонанса плеча антенны. Мной были проанализированы более десятка графиков КСВ из технических описаний «фирменных» антенн типа T2FD. Действительно, эти графики КСВ прекрасно подтвердили приведенный выше теоретический анализ работы антенны T2FD.

Какие выводы следует сделать из этого для увеличения эффективности работы антенны T2FD? Главный вывод: необходимо всеми способами увеличивать эффективность излучения плеча антенны. Для этого необходимо увеличивать расстояние между проводниками антенны и длину самой антенны. Выбором длины антенны можно добиться того, чтобы минимумы КСВ антенны находились

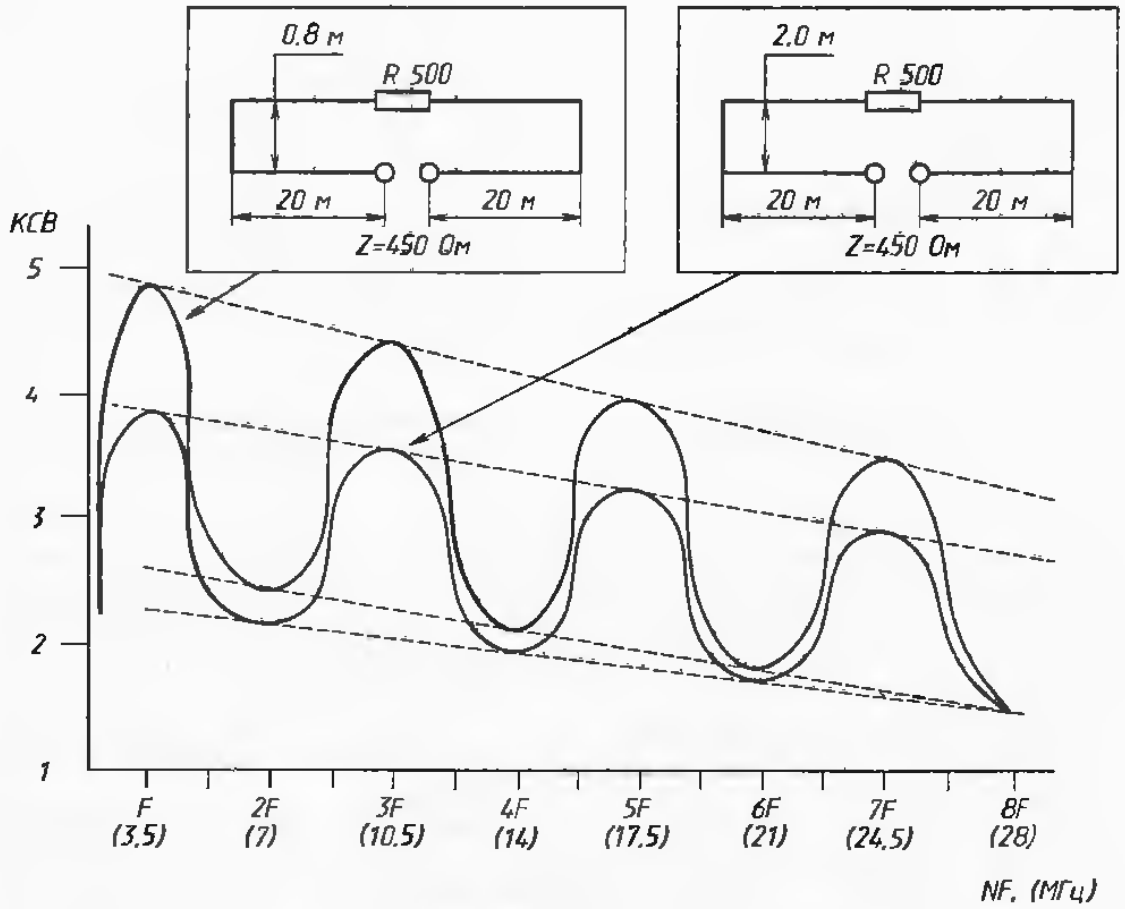


Рис. 8.10. График КСВ узкой и широкой антенны

в желаемых любительских диапазонах. Подбором значения сопротивления нагрузки антенны T2FD можно произвести дальнейшее снижение КСВ антенны.

Для изготовления антенны T2FD следует использовать толстый провод, так как чем толще провод, тем больше эффективность работы антенны. Как следует из вышеизложенного, длина антенны T2FD для эффективной работы должна быть не менее $\lambda/2$. При меньшей длине антенны значительно увеличивается мощность, рассеиваемая на нагрузке, и уменьшается излучение антенны.

8.10. Несимметричная антенна T2FD

В городских условиях часто не хватает места для размещения полноразмерной антенны T2FD. В этом случае можно использовать ее несимметричный вариант антенны бегущей волны, который вдвое короче полноразмерной антенны T2FD. Конструкция несимметричной антенны бегущей волны показана на рис. 8.11. Диапазон рабочих частот несимметричной антенны бегущей волны практически аналогичен диапазону частот симметричной антенны T2FD, показанной на рис. 8.2. КСВ несимметричной антенны бегущей волны даже лучше КСВ полноразмерной антенны T2FD. По эффективности работы несимметричная антенна бегущей волны может проигрывать классической антенне T2FD до 4 дБ. Из этого видно, что использовать несимметричную антенну бегущей волны желательно только в совершенно безвыходных ситуациях.

Эта антенна не требует радиотехнической «земли» для своей работы. Мало влияет наличие проводящей земли под антенной на степень ее согласования с двухпроводной линией. Это является несомненным достоинством антенны, которую

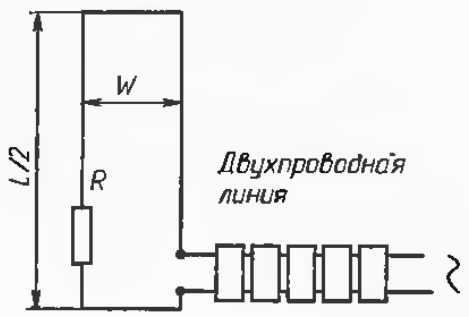


Рис. 8.11. Несимметричная антенна бегущей волны

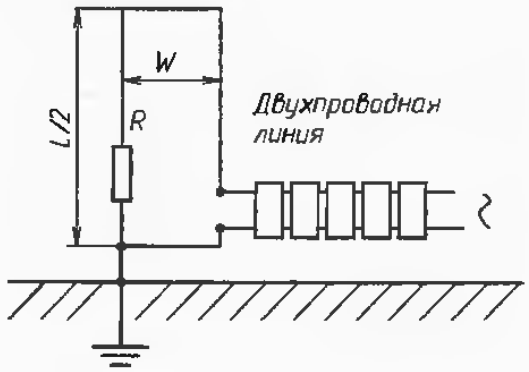


Рис. 8.12. Несимметричная антенна бегущей волны с заземленной нагрузкой

можно разместить практически в любых городских условиях — над бетонной крышей дома, на кирпичной стене. Но наличие хорошей проводящей поверхности под антенной за счет отражения радиоволн от этой поверхности повышает эффективность работы несимметричной антенны бегущей волны. Следует с осторожностью относиться к конструкции несимметричной антенны бегущей волны с непосредственным соединением с землей около ее нагрузки, квк показано на рис. 8.12. Такие конструкции иногда встречаются в радиолюбительской литературе. Конечно, при соответствующем своем выполнении они могут обеспечить большую эффективность работы, чем незаземленная антенна.

Однако при работе таких антенн могут возникнуть сложности в их согласовании. Произойдет возрастание помех телевидению и различной бытовой радиоаппаратуре. Лучший вариант питания заземленной антенны — использование коаксиального кабеля с широкополосным трансформатором на выходе, как показано на рис. 8.13. Трансформатор должен находиться непосредственно около антенны. Однако мой опыт использования несимметричных антенн с заземленной нагрузкой не позволяет рекомендовать их для повторения радиолюбителями.

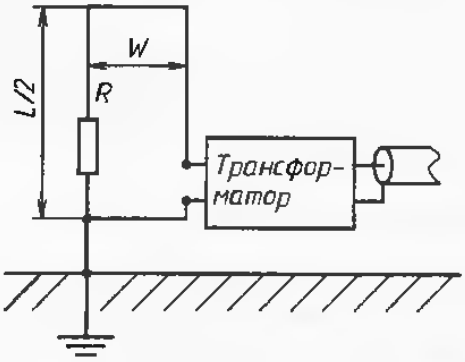


Рис. 8.13. Питание несимметричной антенны бегущей волны

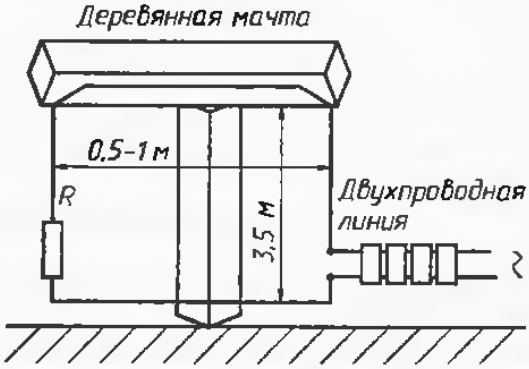


Рис. 8.14. Антенна на деревянной мачте

При практическом конструировании несимметричной вертикальной антенны бегущей волны в радиолюбительских условиях она может быть выполнена из трубок диаметром 10...40 мм. Суррогатный вариант выполнения такой антенны заключается в использовании для ее изготовления медного провода диаметром 1...4 мм. Такая антенна может быть установлена на деревянной мачте, как показано на рис. 8.14. Антенна может быть растянута между подходящими опорами, как показано на рис. 8.15.

Мне приходилось видеть вертикальные несимметричные антенны бегущей волны, установленные на армейских автомобилях связи. Петля размерами 350x50 см, выполненная из алюминиевой трубки диаметром 40 мм, находилась в лежачем положении нв крыше ввтомобиля. При работе петля поднималась. В качестве поглощающего резистора была использована стандартная активная нагрузка с рассеиваемой мощностью 1 кВт. Согласование антенны с выходным каскедом передатчика производилось с помощью автоматического согласующего устройства. Хотя эта антенна предназначалась для ближней связи, на нее была возможна и работа в сети с радиостанциями, удаленными на расстояние 500...1000 км.

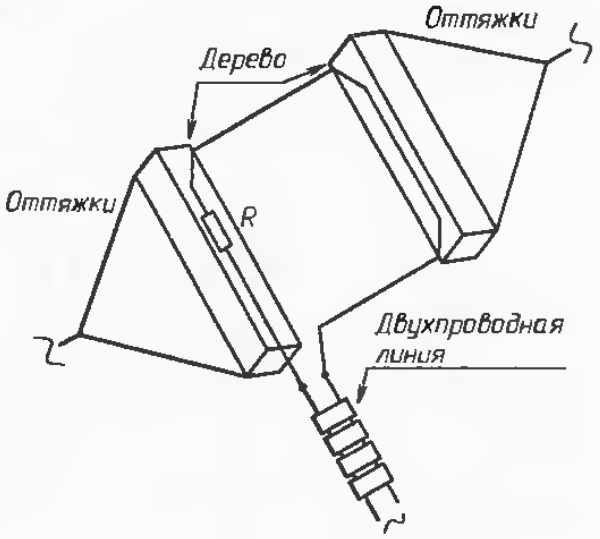


Рис. 8.15. Антенна, подвешенная в пространстве

ЛИТЕРАТУРА

1. Countryman G. L.. An Experimental All- Band Nondirectional Transmitting Antenna. QST, June 1949. P. 54—55.

2. Rothammels ANTENNENBUCH (edited by Alois Krischke), 11 Edition. Franckh-Kosmos. Verlag — GmbH@Co., Stuttgart, 1995.

3. Cebik L. B. Modeling the T2FD : Antennas : Tales and Technicals // CD Version 1.0. Produced by antenneX.

4. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт, 2002. — 272 с. — ISBN 5-93037-087-7.

9. ГОРОДСКИЕ АНТЕННЫ БЕВЕРЕДЖА

Преимущество антенны Бевереджа перед другими антеннами — это ее широкополосность. Установив только одну антенну, радиолюбитель сможет работать на всех коротковолновых диапазонах. Недостаток антенны Бевереджа заключается в ее небольшом относительно резонансных антенн КПД. Но, несмотря на это, антенна Бевереджа может быть использована в качестве запасной или в качестве вспомогательной антенны.

В этой главе описаны реальные конструкции простых антенн Бевереджа, которые радиолюбитель сможет разместить практически на любой крыше многоэтажного городского дома. Первая антенна Бевереджа — это суррогатная согнутая антенна. Тем не менее, используя эту антенну, можно успешно работать в эфире. Вторая внтенна Бевереджа представляет собой фазированную антенную систему из двух антенн Бевереджа. Эта система позволяет электрически «крутить» в небольших пределах диаграмму направленности антенной системы. В городе, где часто невозможно использовать вращающуюся антенную систему, использование такой антенны может оказаться единственно возможным вариантом установки антенны с изменяемой диаграммой направленности. Третья антенна, описанная здесь, наиболее эффективна в работе, но зато требует повышенного затрата материалов.

Исходя из реальных условий, радиолюбитель сможет сам выбрать, какая из этих антенн оптимально ему подходит.

9.1. Согнутая антенна Бевереджа

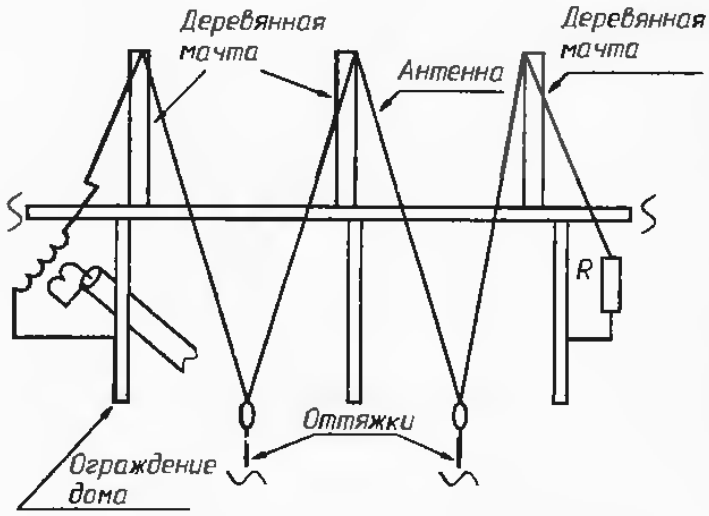


Рис. 9.1. Согнутая антенна Бевереджа

Для эффективной работы антенны Бевереджа необходимо, чтобы длина ее полотна была как можно большей. Но это условие не всегда выполнимо из-за дефицита места на крыше или в другом месте установки антенны в городе. При установке антенны Бевереджа при дефицита места в радиолюбительских условиях, на крыше дома или в других стесненных обстоятельствах вполне удовлетворительно работает согнутая Z-антеннв Бевереджа. Внешний вид этой антенны показан на рис. 9.1.

На металлическом ограждвнии крыши ставятся деревянные мачты высотой 1,5—2,5 м. Полотно антенны натягивается между ними, а середина полотна антенны между этими мачтами растягивается оттяжками по крыше. При установке антенны на крыше полотно может располагвться наклонно относительно мачт и крыши, как показано на рис. 9.2. Если антенна выполнена на даче, то полотно может быть растянуто параллельно поверхности земли с использованием естественных опор — деравьев.

Нагрузка антенны и питание антенны могут быть выполнены обычными способами, используемыми для построения антенн Бевереджа. Z-образная антенна Бевереджа имеет значительно более высокий уровень боковых лепестков по сравнению с линейной антенной Бевереджа. Увеличивается уровень заднего лепестка. Несмотря на это, такая антенна вполне может быть использована при стесненных обстоятельствах в качестве суррогатной антенны, предназначенной для работы на всех любительских коротковолновых диапазонах.

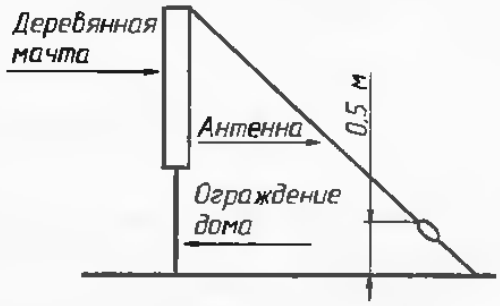


Рис. 9.2. Наклонная установка согнутой антенны Бевереджа

9.2. Антенная система с изменяемой диаграммой направленности

Простую широкополосную антенную систему с изменяемой диаграммой напрввленности можно построить на основе двух антенн Бевереджа. Эти антенны, идентично выполненные, ставятся пвраллвльно на даух противоположных сторонах крыши многоэтажного дома. Линии питания, идущие от антенн к передетчику, должны быть одинаковой длины. На месте расположения передатчика одна или другая антенна подключается через фазосдвигающее устройство, которое выполнено на основе коаксиального кабеля разной длины. Антенны соединены параллельно и подключены к передатчику. Схема широкополосной антенной системы с изменяемой диаграммой направленности показана нв рис. 9.3.

Для выполнения питания и фазосдвигающего устройства антенн можно использовать коаксиальный кабель с любым волновым сопротивлением. Длину переключаемых отрезков коаксиального кабеля в фазосдвигающем устройстве выбирают исходя из количества контактов переключателя и предполагаемых диапазонов рвботы внтенны.

Если необходимо обеспечить эффективную работу антенны именно на конкретном диапазоне, то отрезки коаксиальных кабелей фвзосдвигающего устройства должны иметь длину, отличающуюся на λ/8. Достаточно обеспечить переключвемый ряд фазированных отрезков λ/8, λ/4, (λ/8+λ/4), λ/2, (λ/8+λ/2), (λ/4+λ/2), λ. При широкополосной работе можно использовать отрезки коаксиального кабеля, длина которых рассчитанна по следующей методике. Допустим, что антенна будет работать в диапазоне 10—80 метров. Средняя длина волны работы антенны — 30 м. Эта длина волны работы антенны делится на количество контактов переключателя, например 10, — получаем 3. Значит, ставим отрезки с шагом 3 м. Первое положение переключателя — нулевое, т. е. без отрезка кабеля. Подобная методика расчета позволяет обеспечить удовлетворительную работу антенны. Переключением фазированных отрезков сдвигаем лепесток ДН антенной системы в горизонтальной плоскости. В зависимости от разницы набега фаз φ в фидврах, ДН антенны изменяется. На рис. 9.4,б,в,г показаны диаграммы направленности антенны при разных сдвигах фаз питания элементарных антенн.

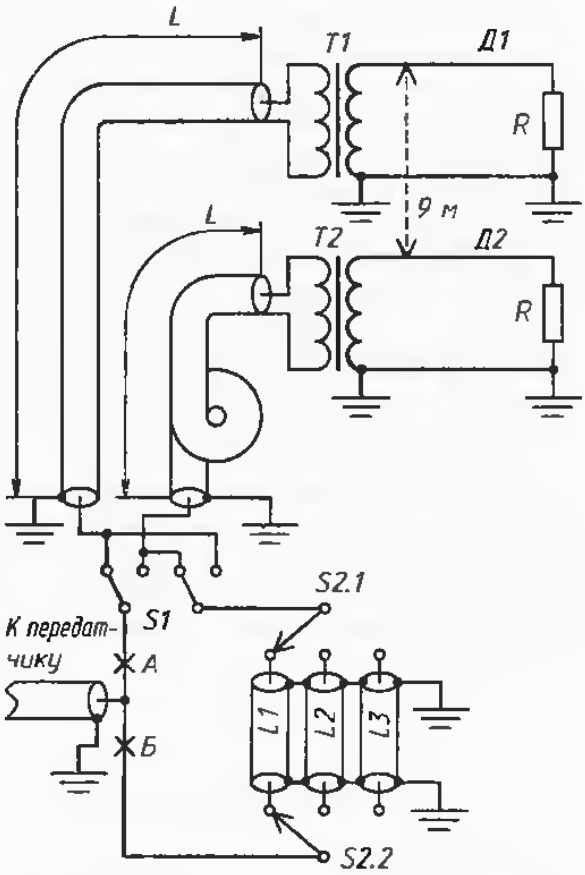


Рис. 9.3. Широкополосная антенная система с изменяемой диаграммой направленности

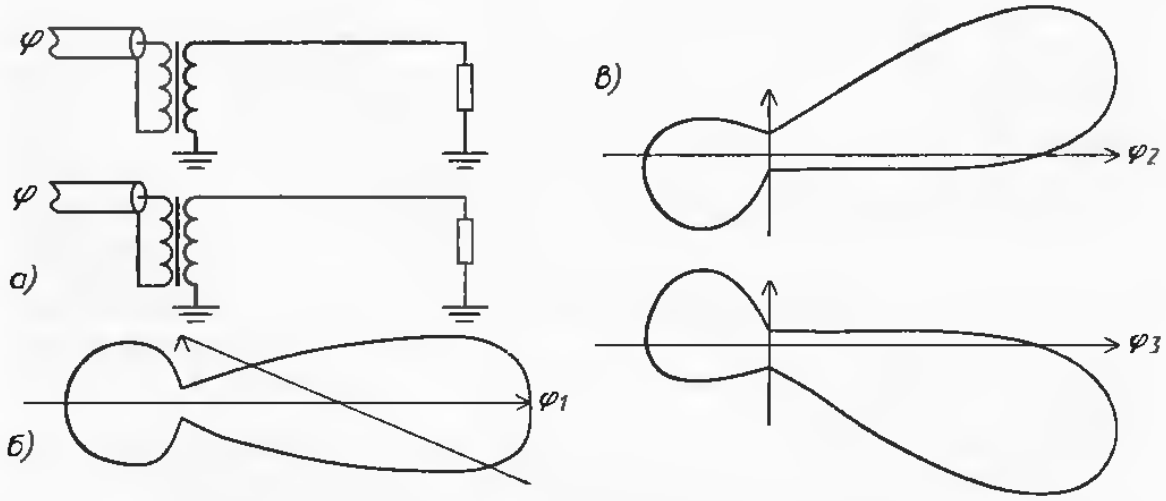


Рис. 9.4. Элементарные антенны (*а*) и диаграммы направленности (*б*, *в*, *г*)

При таком сканировании диаграммы направленности теоретически достижимо изменение максимума сканируемого лепестка ДН не более чем 6 дБ (1 балл по шкале *S*). Для уееличения эффективности работы антенной системы и увеличения разницы между минимумами и максимумами ДН элементарные антенны желательно подключать к передатчику через суммирующий трансформатор, как показано на рис. 9.5. Трансформатор может быть намотан трифилярно на сердечнике от отклоняющей системы цветного телевизора. Количество витков равно 10...20. Меньшее количество витков трансформатор может содержать при предпочтительной работе антенной системы на высокочастотных диапазонах, а большее количество витков — при предпочтительной работе внтенной системы на нижних любительских КВ диапазонах. Для выполнения трансформатора можно использовать провод типа ПЭЛ 0,5—0,8 или типа МГТФ такого же диаметра. Количество скруток — 1 на 0,5 см. Обмотки должны быть равномерно распределены по ферритовому кольцу.

Данная антенная система является суррогатной направленной антенной системой. Она не позволит в полной мере насладиться направленной работой, которую могут обеспечить специальные направленные антенны, как, например, волновой канал или экранированная магнитная рамка (конечно используемая в качестве приемной), но позволит понять праимущества направленных антенных систем и в дальнейшем продолжить эксперименты с направленными антеннами на более высоком уровне.

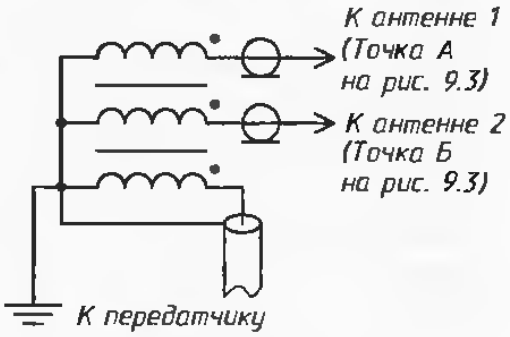


Рис. 9.5. Подключение элементарных антенн через согласующий трансформатор

9.3. Городская антенна бегущей волны

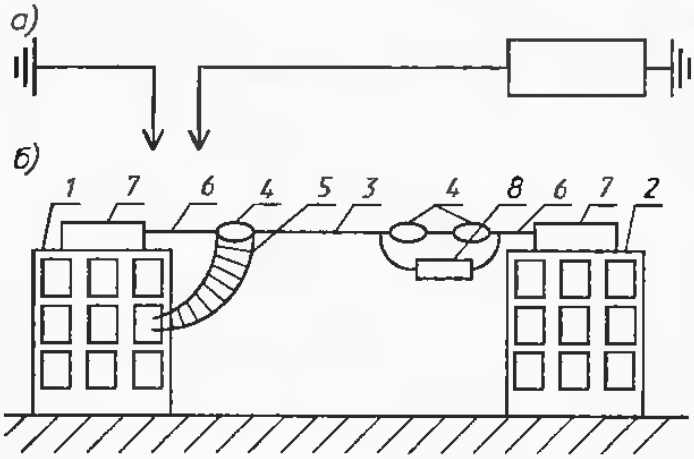


Рис. 9.6. Городская антенны бегущей волны

В городских условиях трудно установить достаточно эффективную антенну даже на один диапазон, не говоря уже о нескольких. Часто возникают сложности с установкой мачты на крыше (на которую иногде трабуется разрешение), с прокладкой коаксиального кабеля питания по стене дома. Но выход из создавшегося положения есть. Если радиолюбитель живет в многоэтажном доме, напротив которого располагается другой многоэтажный дом, то можно установить простую, но эффективную антенну бегущей волны (АБВ). Схема антенны приведена на рис. 9.6,а, а конструкция показана на рис. 9.6,б.

АБВ натягивается между двумя домами *1* и *2*, находящимися на расстоянии друг от друга от 20 м и более. Антенна *3* представляет собой достаточно прочный провод, желательно биметаллический, но можно и медный, толщиной более 1 мм. Провод подеешен на изоляторах *4*. Антенна запитывается с одного конца через откры-

тую линию передачи *5*, которая подсоединяется одним проводником к антенне, а другим — к металлической оттяжке *6*, которая заземляется на металлическое ограждение на крыше *7*, играющее роль радиотехнической земли. В том случае, если на крыше отсутствует металлическое ограждение, необходимо подсоединиться или к арматуре здания, если дом панельный, или к трубам водопровода, которые обычно имеют выход на чердаке дома. Если и это невозможно, то необходимо проложить «искусственную землю» в виде медного или алюминиевого провода длиной не меньше, чем основная антенна. Провод может лежать на поверхности крыши или находиться внутри чердака, желательно, чтобы он был вытянут в одну линию, но с некоторым ухудшением работы антенны противовес может быть расположен в виде букв П, Г, М. Провод заземления может быть опущен в пластиковые трубы водостока.

На другом конце антенны располагается нагрузка *8*. АБВ, находящаяся выше 4 метров, имеет волновое сопротивление около 600 Ом, которое практически не меняется с дальнейшим увеличением высоты подаеса антенны. Следовательно, и сопротивление нагрузки должно находиться в этих пределах. Практическое выполнение нагрузки показано на рис. 9.7.

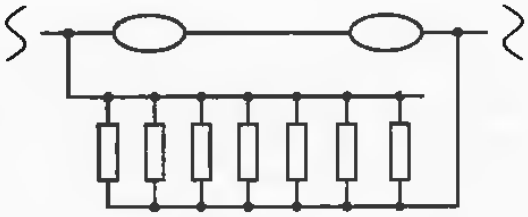


Рис. 9.7. Выполнение нагрузки антенны бегущей волны

Антенна на конце нагрузки «разбита» двумя изоляторами, к одному из них подсоединяется полотно антенны, а к другому концу — провод, идущий к металлическому ограждению противоположного дома. Нагрузка набрана из резисторов типа МЛТ-2, включенных параллельно. Суммарное сопротивление этих резисторов равно 600 Ом. При выполнении нагрузки следует учитывать, что она должна быть рассчитана на мощность не менее 30% от мощности, отдаваемой выходным каскадом передатчика. Например, при выполнении нагрузки из 32 включенных параллельно резисторов типа МЛТ-2 сопротивлением 18 кОм, суммарная мощность, рассеиваемая на этих разисторах, равна 64 Вт, что позволяет без повреждения нагрузки подводить мощность 200 Вт к антенне.

Резисторы нагрузки расположены вертикально, их выводы припаяны к медным проводам толщиной 1 мм. После этого нагрузка помещается в пластиковую водопроводную трубу (рис. 9.8). В нижней части трубы были просверлены отверстия, а концы трубы «заглушены» полиэтиленовыми кружками, вырезанными из пластиковых крышек для стеклянных банок, затем этой же пластмассой заплавлены. Следует обратить внимание на то, что нельзя «заглушать» трубу пробками из дерева, так как, расширяясь под действием влаги, они могут ее разорвать. Полностью герметизировать нагрузку нежелательно, да и сложно в радиолюбительских условиях, а в конечном итоге бесполезно. Резисторы, нагреваясь во время работы антенны на передачу, будут нагревать воздух, что приведет к эффекту «дыхания», т. е. через микроскопические отверстия в нагрузку будет затягиваться воздух, содержащий влагу. Это произойдет потому, что, нагреваясь, воздух выходит из «загерметизированной» нагрузки, а при его остывании давление в нагрузке понижается, что приводит к засасыванию в нее влажного воздуха из атмосферы. Если нагрузка будет загерметизирована, то влага, постоянно конденсируясь в нагрузке, через некоторое время выведет ее из строя. Если в корпусе нагрузки будут отверстия, то через них будет происходить конвекция воздуха, и, нагреваясь, нагрузка вы-

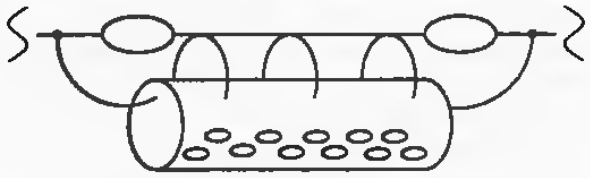


Рис. 9.8. Защита нагрузки антенны бегущей волны

сушит себя и окружающее ее пространство. Поскольку сверху она закрыта, то атмосферные осадки не будут попадать внутрь корпуса нагрузки.

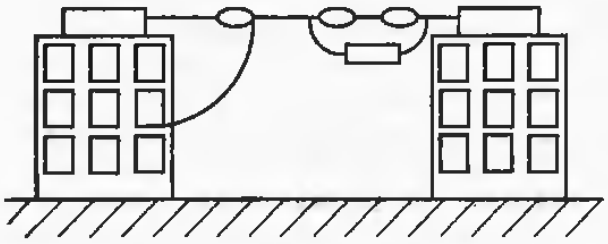


Рис. 9.9. Антенна бегущей волны с однопроводным питанием

Антенна должна располагаться между домами так, чтобы открытая линия питания заходила в комнату, где установлена радиостанция, под небольшим углом. Антенну можно завести прямо в комнату без использования линии передачи, как показано на рис. 9.9. В этом случае уровень помех в радиоприемной и телевизионной аппаратуре, создаваемый антенной, увеличится.

Не следует бояться использовать питание антенны по открытой линии, оно имеет свои преимущества по сравнению с кабельным питанием. При использовании открытой линии возможно построение простых многодиапазонных антенн. Линия с волновым сопротивлением 300...600 Ом очень хорошо согласуется при помощи П-контура, используемого в ламповых усилителях мощности. Если радиолюбитель работает на трансивер без лампового РА, то, используя согласующие устройства (см. [1]), можно провести согласование трансивера с антенной. В настоящее время в магазинах электротоваров в продаже есть электрический силовой двухжильный провод в пластиковой изоляции с большим расстоянием между жил, волновое сопротивление которого близко к 300 Ом. Этот провод идеально подходит для питания АБВ. К сожалению, он не рассчитан на работу на открытом воздухе и в течение нескольких лет приходит в негодность.

Наиболее оптимально использовать самодельную открытую линию. Вариант одной из конструкций самодельной линии показан на рис. 9.10. Распорки были выполнены из фольгированного стеклотекстолита, на концах распорок на точильном камне был сделан паз (рис. 9.10,а). Проводники линии были выполнены из медного проводе толщиной 1 мм. По месту установки изоляторов провод был зачищен и припаян к фольге стеклотекстолита, по бокам изоляторов были припаяны U-образные скобы из медной проволоки толщиной 1 мм для лучшего крепления линии к распоркам (рис. 9.10,б). Стеклотекстолитовые изоляторы были установлены через 50 см. Для линии необходимо использовать жесткий медный провод, мягкий многожильный и мягкий одножильный (например, отожженный специально или снятый со сгоревшего трансформатора) не подойдет из-за возможного перекручивания линии и замыкания ее проводников. При использовании мягкого медного проводв необходимо устанавливать изоляторы более часто, чем через 50 см, и после подвеса антенны провести небольшую натяжку линии, которая обеспечит невозможность ее перекручивания.

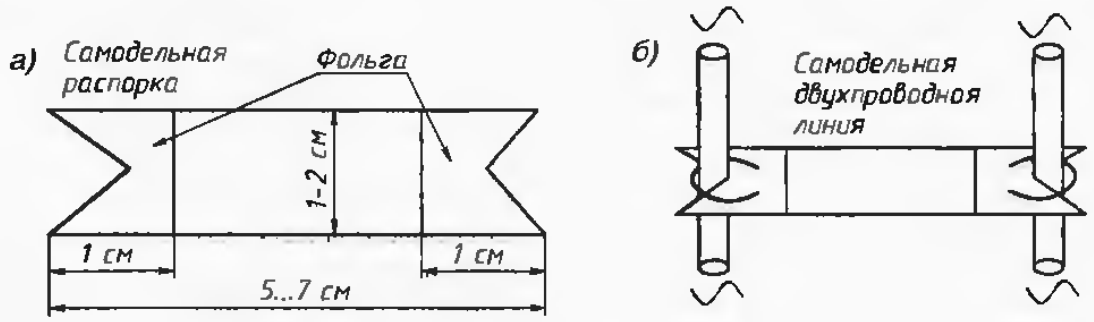


Рис. 9.10. Самодельная открытая линия

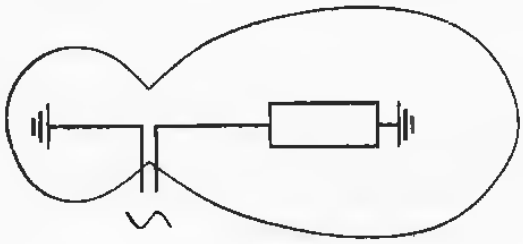


Рис. 9.11. Диаграмма направленности антенны бегущей волны

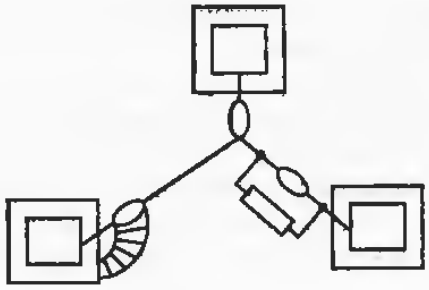


Рис. 9.12. АБВ между тремя домами

Антенна хорошо работает в диапазоне частот 1,9...50 МГц. Ее примерная диаграмма направленности показана на рис. 9.11. Она зввисит от длины полотна антенны, от качества заземления на стороне нагрузки и стороне питания антенны, Чем лучше качество заземления на обеих сторонах и длиннее антенна, тем меньше уровень заднего лепестка и больше излучение в сторону нагрузки.

При плохом качестве заземления на стороне нагрузки увеличивается задний лепесток и уменьшается передний. При плохом качестве заземления на стороне питания уменьшается КПД антенны и увеличивается уровень заднего лепестка. Эта антенна может быть универсальной, используемой для работы на всех любительских КВ диапазонах. При ее установке необходимо применить провод и изоляторы, способные выдержать вес внтенны и противостоять порывам ветра. При практическом выполнении антенны для удлинения ее полотна можно производить растяжку АБВ мвжду тремя и более домами (рис. 9.12).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт, 2002. — 272 с. - ISBN 5-93037-087-7.

10. ПОДЗЕМНЫЕ И СТЕЛЮЩИЕСЯ АНТЕННЫ

Эти типы антенн соасем недавно практически не использовались радиолюбитвлями. Обычно всегда нвходилось свободное пространство, в котором можно было подвесить полноценную антенну. Но с возрастанием мегаполисов, ужвсточением архитектурных требований к внешнему виду домов, стелющаяся антенна может оказаться единственной, которую радиолюбитель сможет установить.

Ранее подземные и стелющиеся антенны использовались на военных секретных центрах связи. В настоящее врвмя в связи с развитием спутниковых систем связи эти антенные системы применяются все реже и реже. Ранее сведения о подземных и стелющихся антеннах првктически не пропускались в открытую литературу не только СССР, но и других стрвн мира, так как эти типы антенн считались секретными. В настоящее время запреты с этих систем сняты и сведения о подземных и стелющихся антеннах стали доступными для радиолюбителей.

10.1. Как это начиналось

Во время Первой мировой войны мачты полевых радиостанций, имевшие значительную высоту — 15...30 метров, представляли собой хорошую мишень для артиллерии. Но даже когда мачты были сбиты, стелющиеся по земле антенны позволяли вести связь, причем, как было замечено, мвксимум дивграммы на-

правленности лежащей на земле антенны был в направлении распространения провода антенны.

В те же годы начал развиваться подводный флот. Для радиосвязи на подводных лодках использовалась антенна в виде проводв, расположенного на небольшой высоте около 1—2 м над корпусом подводной лодки. С помощью этих антенн оказалось возможным вести связь из подводных лодок, находящихся в надводном положении, с удаленными береговыми базами. Иногда даже при положении подводной лодки е подводном положении удавалось проводить радиосвязи.

10.2. История стелющихся и подземных антенн

Если развитие стелющихся наземных антенн привело уже в 1923 году к открытию антенны Бевереджа, в затем и ромбической внтенны, то переход от низко рвсположенной антенны подводной лодки к возникновению внтенн типв DDRR занял почти 50 лет (антенна DDRR была описана впервые в 1963 году Дж. М. Бойером).

Позднее подземные и стелющиеся антенны широко использовались для секратных подземных военных баэ. Была относительно хорошо разработана теория как подземных вертикальных, так и подземных горизонтальных антенн. Стелющиеся антенны использовали для своих целей и шпионы-развадчики вплоть до 50-х годов XX века, которые для передачи сводок просто прокладывали антенну по поверхности земли за городом, куда они выезжали для работы в целях создания маскировки и некоторого затруднения их пеленгации. Иногда встречаются сведения по использованию шпионами-развадчиками стационарных подземных антенн. На подводных лодках до сих пор используются подводные антенны, позволяющие вести радиосвязь, не выпуская над поверхностью воды антенну-зонд.

Достоверные документальные сведения об использовании подземных и стелющихся антенн в годы Второй мировой войны можно найти в военных мемуарах. Нводнокрвтно описывались в советской мемуарной литературе так называемые схоронки, которые немцы после своего ухода создали на территории Западной Украины для диверсионной работы. Мне приходилось лично встречвться и разговариввть с людьми, которые обнаруживали эти «схоронки». Во многих из них использовались подземные коротковолновые антенны, конструкция которых аналогична описанным в этой главе антеннам. «Схоронки», имеющие подземные антенны и замаскированный дерном вход, было практически невозможно найти даже при нахождении в непосредственной близости от них. Только по прошествии многих лет после окончания войны — 20—30, когда или произошел размыв дерна дождями, или когда прогнили деревянные балки, «схоронки» начали обнвруживать. Об обнаружении «схоронок», об использовании радиолюбителями аппаратуры, найденной в них, можно написать целую книгу... Мной до сих пор используются немецкие наушники (мягкие амбрашюры, прекрасное звучание, маркировка 1944 года с орлом), найденные жителями одной украинской деревни в одной из таких «схоронок» и вымененные мной по случвю...

Позже из военной мемуарной литературы в СССР цензура убирала любое упоминание о подземных антеннах вермахта. Но все же описания этих «схоронок», приведенные в старой мемуарной литературе, позволили мне сделать достоверное предположение о том, что в «схоронках» использовались для радиосвязи подземные антенны.

10.3. Развитие подземных антенн

Опыты по разработке подземных и стелющихся антенн широко проводились начиная с 20-х годов XX века. Но до Второй мировой войны основной упор в исследованиях работы подземных антенн делался на разработку шпионских, невидимых антенн. Эти антенны должны были быть лвгкими в установке и нвстройке.

иметь относительно высокий коэффициент полезного действия и обвспечить работу в диапазонах коротких волн 2...5 или 8...12 МГц, которые активно использовались шпионами всего мира для нелегальной работы. В то время было практически обнаружено, что наиболее эффективно работают ствлющиеся антенны, которые представляют собой провод диаметром около 1 мм, окруженный диэлектриком толщиной примерно 10 мм с диэлектрической проницаемостью, равной 2—3. Именно в те времена была практически определена эффективная длина (которая потом была теоретически обоснована) стелющейся антенны для работы на «шпионских» КВ диапазонах (2...5 или 8...12 МГц). Эта длина оказалвсь равной примерно 30—45 метров.

Во время Второй мировой войны и в посладующие годы активно проводились исследования подземных и стелющихся антенн для работы в диапазоне радиочастот от 9 кГц до 50 МГц. Были разработаны антенны для стационврных подземных радиоцентров. Также были разработаны переносные, легко устанавливаемые шпионские антенны для работы в диапазонах коротких волн, традиционно используемых для нелегальной работы. Результаты, полученные в разных странах при разработке этих антенн, тщательно засекречивались, но все же некоторые части этих исследований в той или иной степени попадали в широко доступную литературу, что позволяло сделать выводы о том, что разработка этих типов антенн активно осуществлялась в СССР и в некоторых других странах.

Были проделаны работы по разработке подземных и стелющихся антенн диапазона коротких волн, при пеленговании которых, когда они работали на передачу, возникала значительная ошибка. В результате этого, при работе шпионов на такие антенны с местностей, удаленных от пеленгационных центров на расстояние свыше 20 км, невозможно было определить с достаточной точностью координаты места работы шпионов и, следовательно, провести их оперативное зедержание. Подземные антенны с недостоверным обнаружением использовались как для полевой шпионской работы из пригородов крупных городов, так и для стационарной работы из мест, удаленных от крупных городов и пвленгационных центров. Поскольку напряженность поля, обеспечиваемая подземной и стелющейся антенной, невелика даже недалеко от нее, а харвктеристики ее излучения даже в непосредственной близости от нее, близки к характеру излучения дальней станции, пришедшей с отражением через ионосферу, то обнаружение шпионских станций, использующих подземные антенны, было достаточно затруднено.

В некоторой детективной литературе, посвящанной шпионам рейха, действовавшим в Англии, встречаются упоминания о подземных антеннах. Во всяком случае можно с уверенностью сказать, что в Германии во время Второй мировой войны подземные и стелющиеся внтенны были достаточно разработаны и широко использовались. Мне приходилось лично встречаться с людьми, которым приходилось бывать в таких подземных радиоцентрах вермахта...

Несомненно, материалы о подземных антеннах вермахта, попавшие в руки США и СССР, позволили в свое время этим странам значительно продвинуться в этой области антенной техники. Для истории скорвй всего навсегда останутся неизвестными имена ученых — антенщиков, впервые разработавших и использовавших подземные и стелющиеся антенны...

Послевоенное использование и развитие подземных и стелющихся антенн шло в основном по двум направлениям. Во-первых, создавались антенны для стационарных подземных радиоцентров, работающих в широком диапазоне частот — от 9 кГц до 50 МГц, и, во-вторых, создавались стелющиеся антенны для армейской передвижной связи на КВ. Шпионские подземные антенны начали постепенно уходить в прошлое и,начиная с 60-х годов XX века, исследовательские работы по ним практически не проводятся, поскольку для скрытой передачи информации, особенно больших ее объемов, были найдены другие способы.

10.4. Работа подземной и стелющейся антенны

Как ясно из названия, подземная антенна — это антенна, установленная на некоторой глубине под землей.

Стелющаяся антенна — это антенна, лежащая в плоскости раздела «воздух-земля» с той степенью приближения, которая допускается неровностями земной поверхности и растительным покровом. Для радиолюбителей наибольший интерес представляют стелющиеся антенны.

Существуют как вертикальные, так и горизонтальные подземные антенны. На мой взгляд, маловероятно, что радиолюбители будут использовать вертикальные подземные антенны. Наиболее вероятное использование горизонтальных подземных и стелющихся антенн. Теория этих типов антенн и будет рассмотрена ниже.

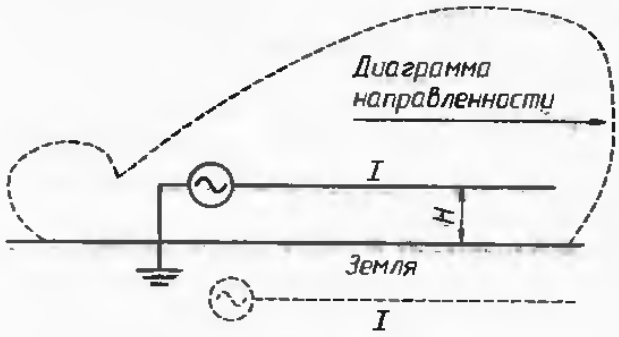


Рис. 10.1. Низковисящая антенна

Как известно из теории антенн [1], низко расположенная над проводящей поверхностью горизонтальная антенна при ее возбуждении создает в земле свое зеркальное отображение, и токи, протекающие в антенне и ее отображении, взаимно компенсируются, что при низких высотах подвеса исключает возможность антенны излучать волны с горизонтальной поляризацией. Поскольку здесь речь идет об антеннах, имеющих весьма малую высоту подвеса, по крайней мере не более 1 м, то можно сказать, что стелющиеся и подземные антенны весьма слабо излучают волны с горизонтальной поляризацией (рис. 10.1). Как известно из [2], волны с вертикальной поляризацией не ослабляются в почве в такой степени, как волны с горизонтальной поляризацией, поэтому с помощью этой антенны возможно небольшое излучение вертикально поляризованных волн. Стоит еще обратить внимание на то, что чем более проводящая почва расположена под низковисящей антенной, тем более сильные токи в ней будут наводиться и тем большая компенсация токов в антенне и, следовательно, тем меньше излучение антенны.

При расположении антенны над слабо проводящей поверхностью токи, возбуждаемые в ее зеркальном земном отображении, будут небольшими. На практике это означает, что низковисящая горизонтальная антенна над слабопроводящей поверхностью может излучать электромагнитные волны, причем не только с вертикальной, но и с горизонтальной поляризацией.

Можно с некоторыми допущениями сказать, что при падении на поверхность земли вертикально поляризованной ионосферной волны или вертикально поляризованной земной волны происходит наклон вектора электрической поляризации относительно земли [2], в результате чего возможен прием вертикально поляризованных волн на низковисящую горизонтальную антенну в плоскости, параллельной полотну антенны. Антенна принимает и горизонтально поляризованные волны в плоскости, перпендикулярной полотну антенны, но гораздо слабее, чем волны с вертикальной поляризацией. Иногда на приемных центрах такие стелющиеся антенны используют специально как антишумовые, так как вследствие их некоторых особенностей они значительно слабее воспринимают обычные типы атмосферных и промышленных помех, которые имеют значительную вертикальную составляющую электрической поляризации.

В этой связи интересен для радиолюбителей тип так называемых барханных антенн, испытания которых проходили на барханах песчаных пустынь Средней Азии бывшего СССР. При расположении стелющихся антенн на склоне бархана

при соответствующем выборе физической длины антенны длины волны работы передатчика, размеров и формы бархана возможна работа бархана как своеобразной диэлектрической линзы, вследствие чего происходит значительное увеличение эффективности работы стелющейся антенны.

Примерная диаграмма направленности стелющейся антенны показана на рис. 10.1. Она имеет максимум в нвпрввлении распространения полотнв антенны. В зависимости от своей конструкции антенна может быть рассчитана как для работы преимущественно с земными типами волн, так и для работы праимущественно с пространственными типами волн. Для радиолюбителей нет смысла приводить весь полный расчет конструкции подземной и стелющейся антенны, там более, что скорей всего в распоряжении радиолюбителей будут отсутствовать многие необходимые для его проведения денные, для получения которых уже неприемлемы радиолюбительские методы. Желающив осуществить это могут ознакомиться с наиболее доступной открытой литературой [3], посвященной некоторым аспектам построения подземных и стелющихся антенн, а мы перайдем к дальнейшему изучению.

10.5. Входное сопротивление стелющейся антенны

Определение входного сопротивления стелющейся антенны как теоретически, так и практически [3] представляет собой непростую для радиолюбителя задачу, поэтому приведем лишь сведения, необходимые радиолюбителю для его практической деятельности.

Для этого рассмотрим упрощенную модель подземной антенны. Итак, провод, заключенный в пластиковую или воздушную изоляцию толщиной *H*, лежит внутри идеально проводящай почвы (рис. 10.2). В этом случае антенну можно рассматривать как линию передачи высокочастотной энергии, образованной идеальной проводящей почвой с одной стороны и звключенной внутрь ее проводником с другой. Волновое сопротивление этой линии зависит от толщины внутреннего проводника, высоты *H* и диэлектрической проницаемости диэлектрика. Если проводимость внешнего проводника бесконечна, а сопротивление нагрузки согласовано с волновым сопротивленивм линии, то вся энергия, подводимая к линии-антенне, поглощается в нем, и излучения радиоволн не происходит.

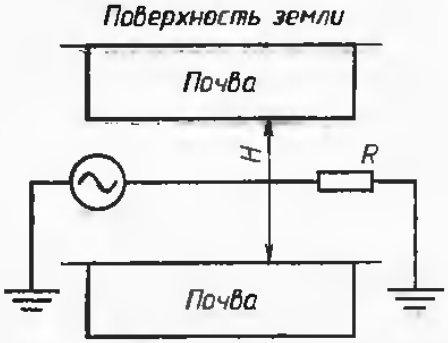


Рис. 10.2. Подземная антенна

В реальности стелющаяся/подземная антенна лежит на или в полупроводящей почве, в которой происходят потери высокочастотной энергии при распространении высокочастотной энергии вдоль полотнв антенны. Происходят также потери на излучение радиоволн, в данном случае зто самые желанные потери.

При практических исследованиях стелющихся/подземных антенн было выяснено, что при использоввнии в качестве полотна стелющейся антенны коаксиального кабеля со снятой внешней оплеткой (или тонкого провода в толстой пластиковой изоляции) и при расположении антенны на поверхности земли в зависимости от проводимости и диэлектрической проницаемости реальной почвы волновое сопротивление линии, образованной проводником внтенны и поверхностью земли,

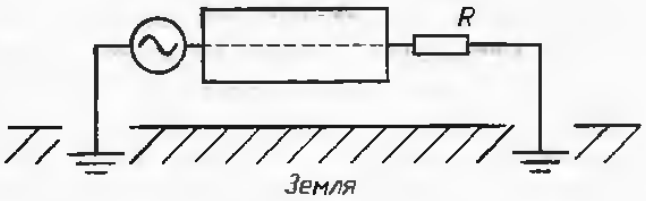


Рис. 10.3. Апериодическая приземная антенна

будет лежать в пределах 100...500 Ом на частотах 2...30 МГц. Нвсмотря на такой большой разброс значений волнового сопротивления, обычно удается его определить практически или теоретически и согласовать антенну (если она апериодическая) с ее нагрузочным сопротивлением (рис. 10.3).

10.6. Длина стелющейся антенны

Длина стелющейся или подземной антенны влияет на эффективность ее работы. Поскольку теоретический анализ расчета оптимальной длины сталющейся антенны достаточно сложен, обратимся к готовым результатам, приведенным в [3].

При распространении высокочастотной энергии в реальной стелющейся антенне по пути ее распространения происходят потери, связанные, во-первых, с излучением антенны и, во-вторых, с потерями высокочастотной энергии в земле как с тепловыми, так и с диэлектрическими. Можно сказать, что в излучении стелющейся (подземной) антенны основную роль играет тот отрезок ее полотна, на протяжвнии которого амплитуда тока (или напряжения) уменьшается в 10 раз по сравнению с его значением в точках питания антенны. Понятно, что после десятикратного уменьшения амплитуды тока та часть антенны, в которой протекает его ослабленнвя часть, будет излучать слабо. В [3] приведен расчет оптимальных длинн стелющихся и подземных антенн.

Для радиолюбительских целей можно принять, что стелющаяся антенна, работающая в диапазонах 1,8...30 МГц, при ее расположении поверх основных типов широко распространенных почв Европы для эффективной работы должна быть длиной не менее 30 м. Увеличение длины антенны свыше 60 м, без поднятия ее при этом над поверхностью земли не имеет смысла. Антенны, расположенные на сухой, песчаной почве, поверх глубокого снега, могут иметь длину больше 60 м.

10.7. Типы стелющихся антенн

Обычно используют апериодические стелющиеся антенны бегущей волны (рис. 10.3), нагруженные на своем конце на сопротивление, примерно равное волновому сопротивлению длинной линии, образующей эту антенну. В редких случаях используют квазирезонансные антенны. Эти антенны на своем конце не нагружвны на сопротивление нагрузки, распределение токв и напряжения в этих антеннах примерно аналогично их распределению в разонансных внтеннах.

По сравнению с впериодическими антеннвми квазирезонансные антенны обладают большим КПД, но их параметры весьма нестабильны. Коэффициент укорочения антенны, а следовательно, и ее электрическая длина, и входное сопротивление зависят от параметров почвы, на или в которой расположена такая антенна. Как известно, эти парвметры во врамени весьма нестабильны. Но иногде, при стабильных параметрах почв, напримвр песок пустынь, вечнвя мерзлота, и возможности производить оперативную подстройку антенны в резонанс, такие антенны используют. Поскольку определение резонансной длины подземной и стелющайся антенны и входного сопротивления разонансной подземной и стелющейся антенны — непростая зедача, нельзя рекомендоввть их к использованию радиолюбителями. Но желающие могут обратиться к [3] для получения соответствующей теоретической базы по их конструированию.

Наиболее целесообразно использовать в радиолюбительских условиях апериодическую антенну, нагруженную на своем конце на волновое сопротивление образующей антенну линии. При длине антенны 30—60 м и рвсположении непосредственно на поверхности обычной почвы ев волновое сопротиаление будет в пределах 200...400 Ом, что позволявт использовать для ее конструкции согласо-

ванную нагрузку и питать антенну через широко распространенные среди радиолюбителей согласующие цепи. Поскольку амплитуда тока и напряжения на конце стелющейся антенны значительно снижается, то можно для увеличения тока в антенне и, следовательно, для увеличения эффективности антенны сопротивление нагрузки уменьшить до 100—150 Ом.

10.8. КПД, КНД стелющихся антенн

С достаточным приближением можно считать, что КПД стелющайся антенны (а следовательно, и коэффициент усиления) составляет не более 10% от КПД антенны Бевереджа, имеющей ту же длину и расположенную на высоте 2 м над той же почвой и работающей на той же частоте. Но такой КПД достижим только при выполнении многих заранее определенных условий. Реально КПД может лежать между знвчениями 1...10%. Хотя это и небольшое значение КПД, но при использовании подводимых к стелющейся антенне мощностей 100 Вт и более эти антенны могут обеспечить удовлетворительную работу в эфире.

КНД стелющихся антенн почти аналогичен КНД соответствующих им указанных выше антенн Бевереджв с полотном, расположенным над землей на высоте 2 м, но максимум ДН стелющейся антенны направлен в зенит под углом на 10...20% большим, чем для антенны Бввереджа. Это позволяет предположить, что, используя стелющиеся антенны на любительских диапазонах 80 и 160 метров, возможно проведение местных (до 500 км) связей, а на любительских диапазонах выше 40 метров возможны как местные, так и дальние связи.

10.9. Вертикальные подземные антенны

Испытания коротковолновых вертикальных подземных антенн проводились по всему миру. Описание работы этих типов антенн, встречаемые в различной литературе, весьма противоречивы между собой, но все же позволяют сделать некоторые заключения о работе подземных радиоцантров, нв которых эти антенны используются.

Вертикальные подземные антенны располагаются в штольнях горных пород. Эти горные породы должны быть выбраны таким образом, чтобы иметь низкие потери на коротких волнах. Диэлектрическая проницаемость этих пород должна быть не более 4, сопротивление — не менее 20 кОм на метр. В этом случае наклон вектора электрической поляризации электромагнитной волны при ее прохождении чераз горные породы надостаточно велик и можно говорить о том, что эти антенны излучают электромагнитные волны с вертикальной поляризацией. Вертикальные подземные антенны выполняются обычно несимметричными. Это связано с тем, что практически невозможно выполнить симметричную вертикальную подземную антенну из-за различного влияния почвы на составные части антенной системы. Высота подземных антенн зависит от того, как глубоко возможно проделать штольню в горной породе и как близко залегает водоносный слой, который обычно играет роль «земли» — экрана несимметричной подземной вертикальной внтенны (рис. 10.4).

Заземление для подземных вертикальных антенн выполняется из нескольких нерезонансных, коротких относительно длины штыря антвнны противовесов, которые располагались около основания антенны. Штырь вертикальных подзвмных антенн настраивался в резонанс с помощью специальных согласующих устройств при работе антенны на передачу.

В горных породах при построении антенн согласно рис. 10.4 для конкретных условий их размещения существуют так назыввемые частоты прозрачности, в пределах которых наклон вектора электрической поляризации минимален и, следовательно, мвксимально излучение радиоволн с вертикальной поляризацией,

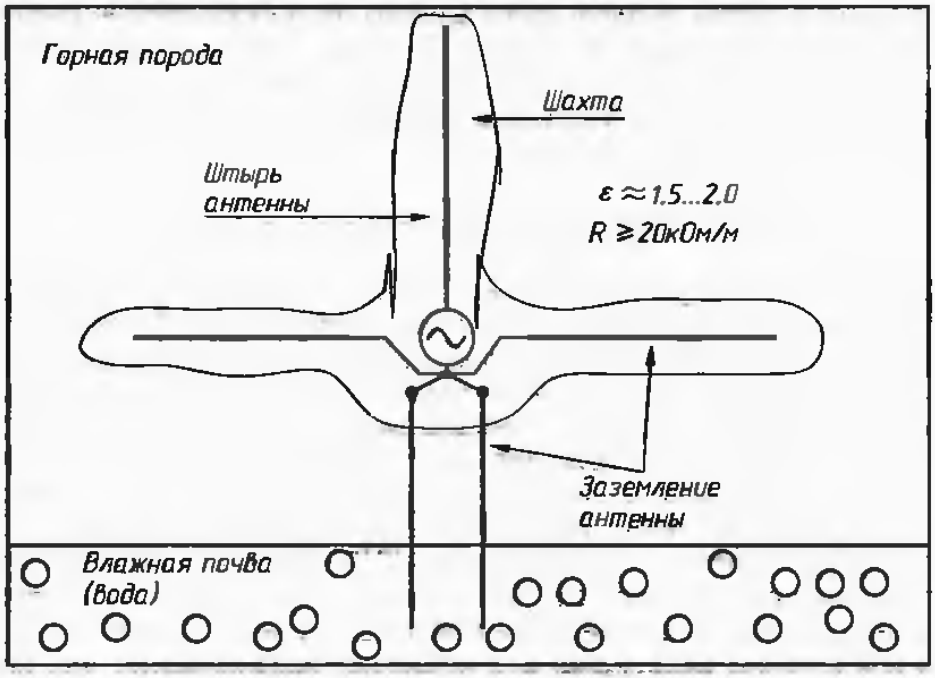


Рис. 10.4. Вертикальная подземная антенна

Частоты прозрачности обычно используют при работе с таких передающих центров. Следует напомнить, что для подземных и стелющихся горизонтальных антенн таких частот нет, и антенны в общем случае обеспечивают широкополосную работу.

Подземная вертикальная антенна, показанная на рис. 10.4, использовалась на секретном германском подземном радиоцентре времен Второй мировой войны, расположенном в Карпатах, описание которого мне встретилось в старых мемуарных воспоминаниях. Очевидно, возможно и создание подземных центров с использованием фазируемых вертикальных антенн, но достоверная информация о таких центрах мне не попадалась.

10.10. Пещерные антенны

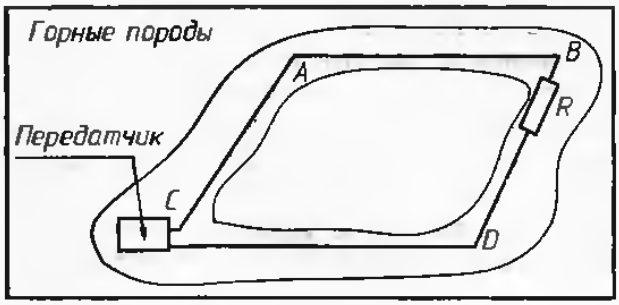


Рис. 10.5. Пещерные антенны

Особым классом подземных антенн являются ромбические вертикальные подземные антенны, которые впервые были испытаны в пещерах. Схема такой антенны показана на рис. 10.5.

Часть антенны AB располагается непосредственно на поверхности земли или на небольшой глубине под ней. Части AC, BD, CD располагаются в штольнях, искусственных или естественных. Первые испытания этих антенн в СССР проводились на горных плато Крыма и Кавказа, на которых были естественные пещеры. Ромбическая подземная вертикальная антенна, так же и как ее аналог, находящийся в свободном пространстве, обладает направленностью в сторону нагрузки.

Ромбическая нагруженная антенна является антенной бегущей волны. Вследствие этого влияние близкорасположенной почвы на ее работу проявляется не в

такой значительной степени, как для вертикальной подземной резонансной антенны. Переключением нагрузки из точки *B* в точку A и соответственно переключением точек питания из точки *C* в точку *D* диаграмму направленности антенны можно изменить на 180°. В подземных передающих центрах такие антенны использовались по несколько пар для работы по нескольким направлениям. По некоторым сведениям, в скальном военном укреплении под Севастополем (в настоящее еремя это укрепление закрыто), спроектированном генералом Дмитрием Карбышевым (погиб в немецком концентрационном лагере Маутхаузен в 1945 году), использовались ромбические вертикальные подземные антенны.

Применение подземных радиоцентров с использованием вертикальных ромбических нагруженных антенн ограничивается местностями, в которых почва обладает высоким сопротивлением и имеет малую диэлектрическую постоянную и следовательно, невысокий уровень потерь высокочастотного сигнала. Это могут быть горные районы с естественными пещерами, скальные породы, бывшие места разработки каких-либо полезных ископаемых с оставшимися после них шахтными стволами.

На мой взгляд, применение радиолюбителями ромбических подземных антенн маловероятно.

10.11. Материал для построения стелющихся и подземных антенн

В качестве материала для построения полотна стелющихся/подземных антенн использовался провод диаметром 1 мм в пластиковой изоляции диаметром 10 мм. Это практически аналог толстого коаксиального кабеля со снятой оплеткой. Не могу сказать точно, когда и в какой стране впервые использовали для полотна подземных и стелющихся антенн этот материал, но он стал основным в производстве подземных антенн.

В СССР для построения подземных антенн выпускался специальный аналог «коаксиального кабеля» — кабель только с внутренней жилой и толстой темной изоляцией без внешней металлической оплетки. Если какому-то радиолюбителю попадется в руки такой кабель, то он может быть уверен в том, что этот материал предназначен для построения подземных антенн. От обычного коаксиального кабеля его отличает только более прочная пластиковая оболочка сверху пластикового покрытия жилы и отсутствие металлической оплетки. Внешний вид такого кабеля показан на рис. 10.6. Внешняя оболочка кабеля может быть выполнена из огнеупорного материала.

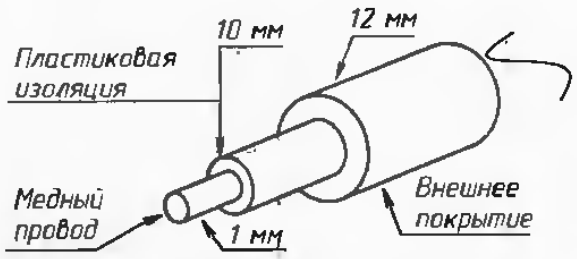


Рис. 10.6. Коаксиальный кабель для полотна подземных антенн

10.12. Подземные радиоцентры

Подземные радиоцентры создавались для различных целей. Были построены мощные навигационные подземные радиоцентры, работающие в диапазоне очень низких частот, подземные радиоцентры глобальной связи, работающие в диапазоне очень низких частот, сверхдлинных, длинных и средних волн. Были разработаны и построены подземные радиоцентры, работающие только в диапазонах коротких волн. В зависимости от назначения каждого радиоцентра и была создана его подземная антенная система. Поскольку для радиолюбителей наибольший интерес представляет работа на коротких волнах, то сначала рассмотрим работу передающего подземного центра коротких волн.

10.13. Конструкция подземного радиоцентра коротких волн

На рис. 10.7 показана конструкция подземного радиоцентра коротких волн. Подземный радиоцентр состоит из аппаратного зала *1*, находящегося на глубине 15...30 м под землей. С помощью фидеров *2* передающая аппаратура соединяется с залом согласующих устройств *3*. Он нвходится нв глубине 2...3 м от поверхности земли. К согласующим устройствам подключены апериодические нагруженные антенны *4*, противовесы которых закопаны близко к поверхности земли. Сами антенны для увеличения их эффективности находятся в воронке, максимальной глубиной 2...3 м. Воронка заполнена диэлектриком и замаскирована сверху небольшим слоем дерна. Состав диэлектрика подобран таким образом, что эта воронка не может быть обнаружена с воздуха методами подземной радио- и звуколокации. В зале согласующих устройств антенны могут объединяться в группы для создания предпочтительной дивграммы направленности при их работе.

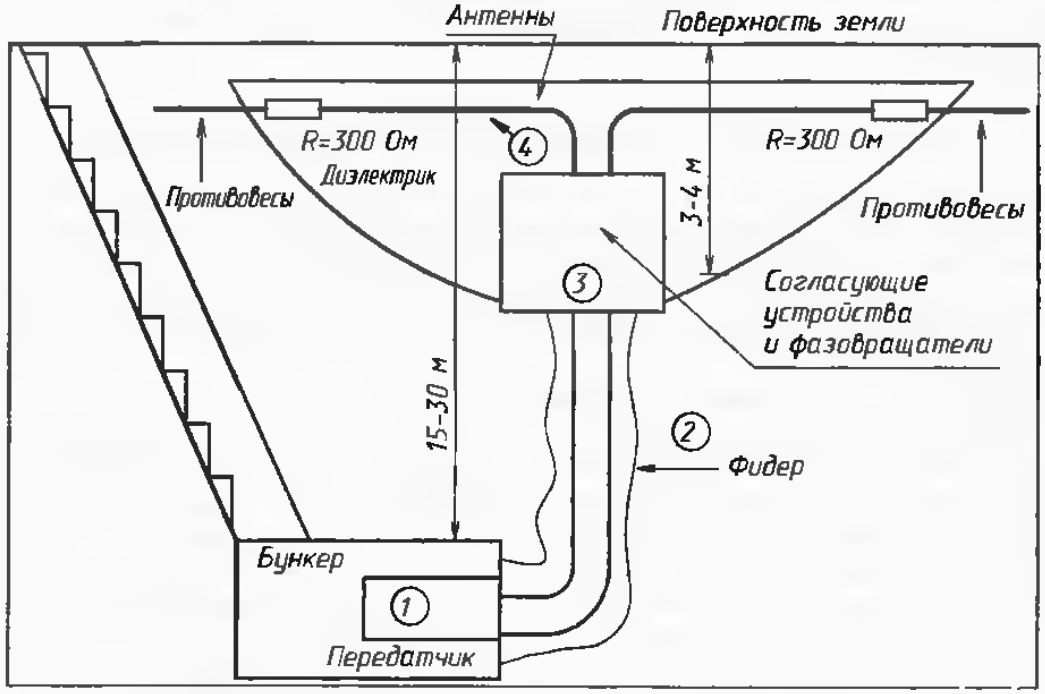


Рис. 10.7. Конструкция подземного радиоцентра коротких волн

Полотна антенн на этих передающих центрах были выполнены из биметаллических трубок (железо с медным покрытием) диаметром 20 мм. Для создания диаграммы направленности использовался фазовый метод, когда несколько антенн из существующей антенной группы питаются с некоторым сдвигом фаз относительно друг друга. При этом противоположные элементарные внтенны могли использоваться в качестве «земли» основных антенн.

Такое построение антенной системы позволяло синтезировать практически любую диаграмму направленности подземной антенной системы, например направленную в зенит или направленную в каком-то — прадпочтительном азимутальном — напрввлении. Иногда подобные радиоцентры оборудовались выдвижными мачтами с устаноаленными на них УКВ антеннвми, предназначенными для осуществления радиорелейной или специальной УКВ и СВЧ связи. Такие подземные радиоцентры использовались для специальной связи до серадины 80-х — начала 90-х годов XX века. С развитием спутниковой связи подземные радиоцентры, очевидно, тоже претерпели существенные изменения. На рис. 10.8 показан вид сверху на антенны подземного радиоцентра коротких волн.

Длина элементарных антенн на разных подземных радиоцентрах коротких волн составляет от 20 до 50 м. Построение подобных подземных радиоцентроа было возможно на почвах практически любых типов и, следовательно, в любых местностях. Подежка почвы, изменение параметров почвы в общем случае мало влияла на параметры коротковолновых антенн, и удавалось сохранить их необходимую диаграмму направленности.

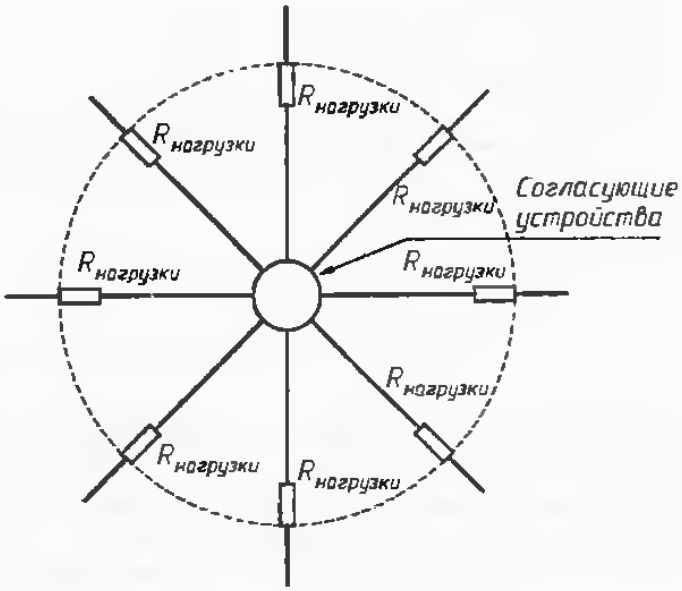


Рис. 10.8. Вид сверху на антенны подземного радиоцентра коротких волн

10.14. Подземные радиоцентры сверхдлинных волн

Стелющиеся антенны, используемые для радиосвязи на сверхдлинных и длинных волнах, имеют свои особенности. На коротких волнах обычно используют подземные и стелющиеся горизонтальные антенны бегущей волны или вертикальные подземные антенны. В диапазоне сверхдлинных и длинных волн работа стелющихся антенн бегущей волны неэффективна. Длина стелющихся антенн в этих диапазонах не может быть более 150...250 м, из-за накладываемых на них ограничений по уменьшению амплитуды высокочастотного напряжения на их конце по сравнению с напряжением на их входе (что было рассмотрено выше). Поэтому для увеличения коэффициента полезного действия стелющихся антенн сверхдлинных и длинных волн используют только настраиваемые а резонанс антенны.

Схема ствлющейся антенны сверхдлинных и длинных волн показана на рис. 10.9. Антенна состоит из двух плеч *1* и *4*, которые с помощью своего соответствующего согласующего устройства *2* и *3* настраиваются в резонанс. Как видно из рисунка, плечи антенн согнуты в форме бумеранга, поэтому такие антенны носят условное название антенны типа «бумеранг». Выполнение полотна антенны в форме бумеранга на диапазоне сверхдлинных волн имеет свое объяснение. Во-первых, для размещения стелющихся антенн необходима местность с опраделенными и постоянными параметрами почв. При размещении полотна антенны бумерангом антенна занимает меньшую площадь, следовательно, легче найти место для размещения антенн.

На реальных подземных радиоцентрах иногдв используют откачку подземных вод и заморозку грунта под антеннами. В этом случае возможно получить почву со стабильными во аремени параметрами и низкой проводимостью и, следовательно, значительно уменьшить потери высокочастотной энергии в почве. Конструкция подземных радиоцентров в этом случае осложняется специальными водооткачивающими и криогенными станциями, размещенными в непосредственной близости около них.

Как видно из рис. 10.9, стелющаяся антенна сверхдлинных волн представляет собой симметричную антенну с теми допущениями на рассимметрирование, которые могут быть обусловлены влиянием почвы.

Сопротивление излучения стелющейся антенны сверхдлинных волн мало и составляет адиницы ом. Вследствие этого существуют технические трудности при

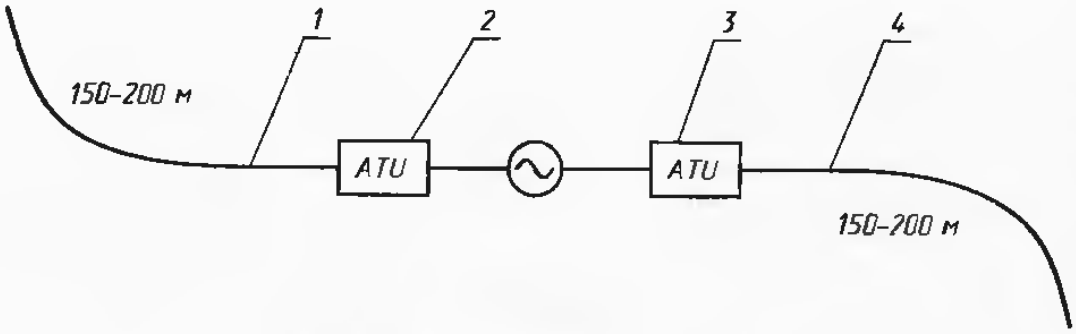


Рис. 10.9. Стелющаяся антенна сверхдлинных волн

согласовании таких антенн. Коэффициент полезного действия стелющейся антенны сверхдлинных волн составляет –40...–60 дБ относительно полуволнового вибратора. Следует заметить, что в диапазоне сверхдлинных волн даже стационарные вертикальные антенны имеют коэффициент полезного действия –10...–20 дБ.

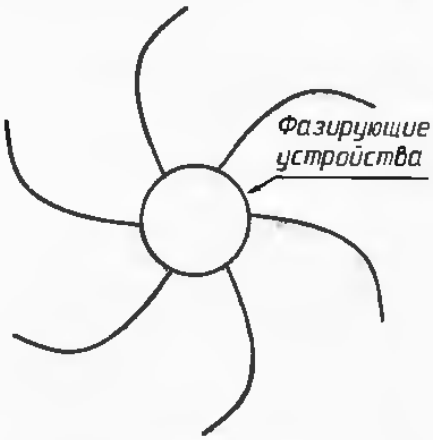


Рис. 10.10. Вид сверху стелющейся антенной системы подземного радиоцентра длинных волн

Для построения подземных радиоцентров, работающих в диапазоне сверхдлинных волн, используют ряд антенн типа «бумеранг», которые для создания необходимой диаграммы направленности питаются с помощью фазирующих устройств. На рис. 10.10 показан вид сверху стелющейся антенной системы подземного радиоцентра. За рубежом подземные радиоцентры с таким расположением антенн часто называют «радиоцентр типа паук» из-за формы их антенн. Для полотна антенн используют описанный выше материал — коаксиальный кабель без внешней проводящей оплетки. Поскольку такие антенны охватывают большие площади, то на их работу большое влияние оказывает подвижка почвы, в результате чего происходит изменение диаграммы направленности антенны. Также оказывают большое влияние погодные условия (снег, дождь), которые меняют характер проводимости почвы и, следовательно, вносят потери в работу антенн. Диапазон сверхдлинных и длинных волн используется для навигации, глобальной радиосвязи, управления армией при чрезвычайных обстоятельствах, поэтому эти радиоцентры до сих пор находятся в работе в различных странах.

На рис. 10.11 показана схема подземного радиоцентра сверхдлинных волн. Антенны этого радиоцентра закопаны на небольшую глубину, обычно 0,5...1 м. В кабельной штольне проходят снижения этих антенн, которые заходят в зал фазирующих и согласующих устройств. С помощью согласующих устройств происходит согласование антенн, с помощью фазирующих устройств происходит синтез необходимой диаграммы направленности. Зал фазирующих и согласующих устройств находится в зависимости от типа почвы на глубине 10...15 м. Это предельная глубина обнаружения подобных объектов методами авиационной радио- и звуколокации. Ниже зала фазирующих и согласующих устройств, на глубине 15...20 м, находится зал электропитания и передающих устройств.

Для работы в мирное время используется внешний подвод электроэнергии, для работы при чрезвычайных обстоятельствах используются дизельная электростанция или маломощный блок атомной электростанции. На значительную глубину под землю зал электропитания и передающих устройств помещен для того, чтобы он не был

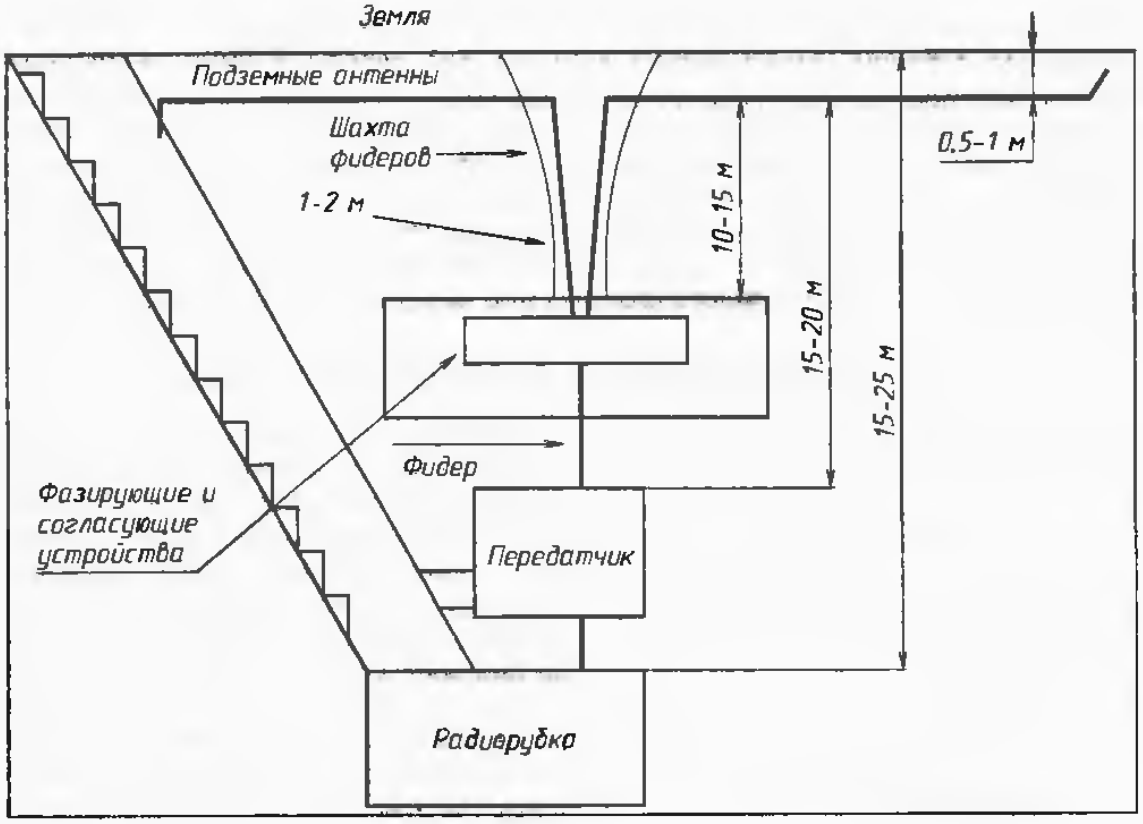


Рис. 10.11. Схема подземного радиоцентра сверхдлинных волн

обнаружен по мощному тепловому излучению со спутников и тропосферных разведывательных летательных аппаратов. Охлаждение тепловыделяющих приборов представляет серьезную проблему. Водооткачивающив и замораживающие станции находятся частично в зале электропитания, а также на удалении от него, но тоже на глубине их необнаружения. Пункт управления и устройства его жизнеобеспечения расположен ниже зала электропитания и передающих устройств — примерно на глубине 15...25 м под землей. Как видно из рис. 10.11 и описания, радиоцентр сверхдлинных волн напоминает по своему построению радиоцентр коротких волн.

Для радиолюбителей стелющиеся антенны сверхдлинных волн также прадставляют интерес. Поскольку для радиолюбительской связи выделен участок сверхдлинного диапазона в районе 136 кГц, то вполне возможно построение радиолюбительских стелющихся антенн для работы в диапазоне длинных волн. В настоящее время для этих целей радиолюбители обычно используют вертикальные укороченные настраиваемые а резонанс антенны, которые сложны в установке и настройке. Стелющиеся приземные антенны для работы на длинных волнах будут хорошей альтернативой.

Подземные длинноволновые радиоцентры более распространены по сравнению с коротковолновыми. Часто используется комбинация: длинноволновой радиоцентр и на небольшом удалении от него коротковолновый. Антенны, расположенные на длинноволновых центрах, обычно не используются для связи на коротких волнах, хотя иногда встречается информация об их двойном применении.

10.15. Радиолюбительские стелющиеся антенны

Антенны этого типа могут быть использованы в радиолюбительской работе. Они могут быть установлены на крыше многоэтажного дома, на садовом участке, будучи практически незаметными для постороннего наблюдателя. В то же время

эти антенны могут обеспечить удовлетворительную работу в эфире. Поскольку стелющиеся антенны имеют низкий КПД, то для работы с ними необходимо использовать повышенные мощности передатчика и чувствительные приемники. Желательно для полотна антенны использовать коаксиальный кабель со снятой оплеткой. При расположении антенны на земле, ее можно двже прикопать на небольшую глубину, что хотя и ухудшит КПД антенны, но сделает ее абсолютно незаметной. На мой взгляд, стелющиеся антенны требуют более широких экспериментов радиолюбителей с ними. Ниже приведены некоторые практические рекомендвции по их выполнению и описаны мои эксперименты с этими антеннами.

10.16. Эксперименты со стелющейся антенной

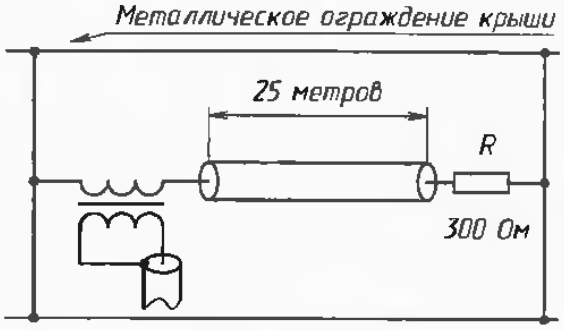


Рис. 10.12. Стелющаяся радиолюбительская антенна

Мной была выполнена радиолюбительская стелющаяся антенна на крыше девятиэтажного дома. Для этого я использовал старый коаксиальный кабель длиной 25 м с поврежденной гнилой оплеткой. Внешняя оболочка и оплетка с кабеля была снята, кабель лежал непосредственно на бетонной крыше, которую можно рассматривать как суррогатную землю. Расположена антенна была примерно в геометрическом центре посередине крыши дома. Нагрузка 300 Ом была соединена с антенной и с металлическим ограждением крыши, которая соединяется с арматурой здания. Это позволило осуществить качественную «землю» для антенны. Питалась антенна через широкополосный трансформатор 4:1 с помощью коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом. На конце питания антенны в качестве «земли» тоже использовалось металлическое ограждение крыши. На любительских диапазонах 6—160 метров КСВ антенны не превышал 2. Вид стелющейся антенны показан на рис. 10.12.

Для выяснения эффективности стелющейся антенны над металлическим ограждением на высоте 1,5 м была установлена антенна Бевереджа, имеющая нагрузку и питание, аналогичные стелющейся антенне. Как выяснилось, на стелющуюся антенну вполне удавалось проводить QS0, причем сравнительная оценка совместно с антенной Бввереджа в слышимости была от 1 до 5 беллов. Некоторое время мной эксплуатировалась стелющаяся антенна, лежащая на чердаке девятиэтажного кирпично-бетонного здания. На эту антенну вполне удавались местные и дальние связи.

10.17. Практическое выполнение радиолюбительской стелющейся антенны

Для полотна стелющейся антенны желательно использовать толстый коаксиальный кабель диаметром не менее 9 мм со снятой оплеткой. Внутренняя жила кабеля, служащая излучателем антенны, защищена от атмосферных воздействий. Пластиковая изоляция кабеля обеспечивает приемлемое распределение антенны по неровностям земной поверхности.

Большое значение для выполнения стелющейся антенны имеет ее «земля». Есть два способа ее выполнения: это «искусственная земля» и хорошее заземление. Заземление осуществляется традиционным способом на стороне питания и нагрузки антенны.

В качестве искусственной земли могут быть использованы 5—10 голых проводников, каждый длиной 0,1 от длины антенны, которые закопаны на небольшую глубину в землю. Если закопать проводники заземления не удастся, то их можно

просто проложить по земле, но эффективность антенной системы в этом случае упадет. Следует обратить внимание на то, что лучи заземления должны идти в противоположные от полотна антенны стороны.

10.18. Нагрузка стелющейся антенны

Нагрузка стелющейся антенны может быть выполнена аналогично нагрузке радиолюбительской антенны Бевереджа. Нагрузка может состоять из включенных параллельно или последовательно резисторов типа МЛТ-2. Общее сопротивление этой цепи должно находиться в пределах 250...400 Ом, более точно сопротивление нагрузки определяется во время настройки антенны. Нагрузка стелющейся антенны длиной более 30 м может быть рассчитана на мощность, равную примерно 10% от подводимой к антенне. Необходимо обеспечить защиту нагрузки от атмосферных воздействий любыми известными способами.

Входное сопротивление стелющейся антенны на разных любительских диапазонах разное: большее на высокочастотных и меньшее на низкочастотных диапазонах. Это заставляет использовать компромиссный вариант сопротивления нагрузки, обеспечивающий приемлемое значение КСВ на всех диапазонах работы антенны. Хороший результат дает использование сопротивления нагрузки, равного 250 Ом. В этом случае антенна будет удовлетворительно работать на любительских диапазонах 6—160 метров, ее входное сопротивление будет лежать в пределах 250—400 Ом в зависимости от диапазона работы.

Входное сопротивление стелющейся антенны необходимо измерять непосредственно на ее клеммах, желательно это делать, используя мостовой измеритель сопротивления, питаемый высокочастотным генератором от батарей. Измерение входного сопротивления антенны в радиорубке непосредственно на ее кабеле питания будет вносить погрешность в характер входного сопротивления, поскольку этом случае внешняя оплетка кабеля входит в систему заземления антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоцерковский Г. Б. Основы радиотехники и антенны. М.: Радио и связь, 1983 — 296 с.

2. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1965. — 399 с.

3. Лавров Г. А., Князев А. С. Приземные и подземные антенны. М.: Советское радио, 1965. — 472 с.

Часть 3
АНТЕННЫ ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Антенны зенитного излучения являются самым многочисленным классом антенн, который существует в мире. В настоящее время насчитываются, наверное, сотни различных типов зенитных антенн. Этот тип антенн является одним из старейших, который человек начал использовать для своих нужд...

Сейчас мы даже не задумываемся, что живем в плотном окружении этих антенн. Без сомнения, практически в каждом современном доме есть аппаратура, в которой используется антенна зенитного излучения. От совершенства этих антенн, от их качества работы свйчас зависит, по глубокому убеждению автора, будущее человечества или, по крайней мере, качество жизни многих людей на планете Земля.

Но что же это за такие удивительные антенны? Где они? В каких устройствах они работают? Это мы с вами разберем ниже.

11. НАЧАЛО АНТЕНН ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Что такое антенна зенитного излучения? Если бы мы задали специалистам-радиотехникам этот вопрос в начале XX века, в середине XX века, в конце XX века и в начале XXI века, то получили бы совершенно разные ответы. Причем, все эти ответы были бы правильными. Просто они относились бы к тому классу зенитных антенн, который в то время был наиболее многочисленным в мире. Эти разные антенны показывают нам путь развития антенн зенитного излучения. Вместе с этим они показывают развитие прогресса человечества, для текущих нужд которого эти антенны использовались в разное время. Сейчас нам двже трудно предсказать, что будут понимать под антеннами зенитного излучения, когда будут говорить о них в середине XXI века и тем более а конце XXI века.

11.1. Что такое антенна зенитного излучения?

Но давайте начнем с того общего, что во все времена объединяло класс антенн, относящихся к антеннам зенитного излучения. Это общее — их диаграмма направленности.

Итак, антенна зенитного излучения — это антенна, имеющая максимум диаграммы направленности, направленной в зенит. На рис. 11.1 показана диаграмма направленности зенитной антенны. Но, конечно, сразу возникает вопрос, почему антенны именно с такой диаграммой направленности так широко распространены во всем мире, что ценно в такой антенне? Почему с середины XX века они стали господствующим классом антенн на планете Земля? Почему от развития этих антенн зависит будущее человечества? И что представляют себе различные радиоспециалисты, когда им говорят об антеннах зенитного излучения? Для ответа на все эти вопросы необходимо начвть с самого начала, т. е. с истории развития антенн зенитного излучения.

11.2. Первые антенны зенитного излучения

Давайте вместе с вами перенесемся в далекий 1898 год, в год, когда Маркони официально запатентовал радио. Эксперименты по использованию радиоволн для радиосвязи до этого времени проводили ученые многих стран мира. Наиболее выдающиеся из них — Маркони, работавший сначвла в Италии, а затем в Англии,

Тесла, работавший в США, и Попов, работавший в России. Из этих трех ученых реальные результаты по построению приемных передвющих устройств и антенн были достигнуты Маркони. В скором будущем радиостанции и антенны его конструкций заполонили весь мир. Но обратимся к антеннам тех лет. В те времена антенная система была наиболее громоздкой и дорогой частью радиопередающего и радиопривмного устройства.

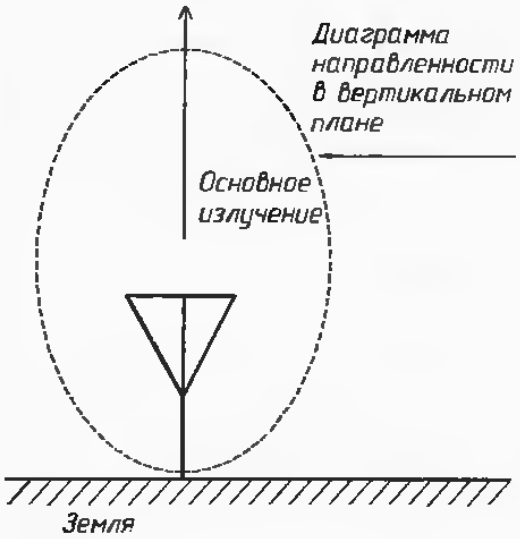


Рис. 11.1. Диаграмма направленности антенны зенитного излучения

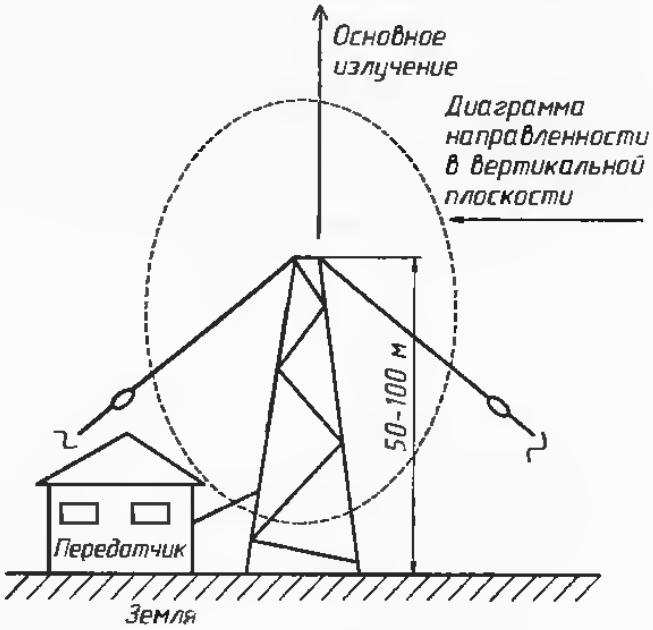


Рис. 11.2. Антенна радиостанции начала XX века

В конце XIX — начале XX века радиостанции работали в диапазоне сверхдлинных и длинных волн. Длина волны первых радиостанций находилась в диапазоне 2 000...20 000 метров. Для этих длин волн очень трудно построить полноразмерную антенну даже в наше время. Действительно, высота антенн радиостанций тех лет, всего 50, максимум 100 м для волн длиной 2 000...20 000 м была ничтожно малой. Поэтому антенны, использовавшиеся в то время первыми радиостанциями (рис. 11.2), были электрически короткими антеннами. Особенно это относилось к антеннам, установленных на морских кораблях (рис. 11.3), где их размеры часто были менее 50 м. Вследствие того, что эти антенны имели значительные горизонтальные части, а также часто располагались над плохо проводящей почвой, практически все первые антенны радиостанций имели диаграмму направленности, имеющую сильное зенитное излучение, т. е. можно сказать, что все они были зенитными антеннами!

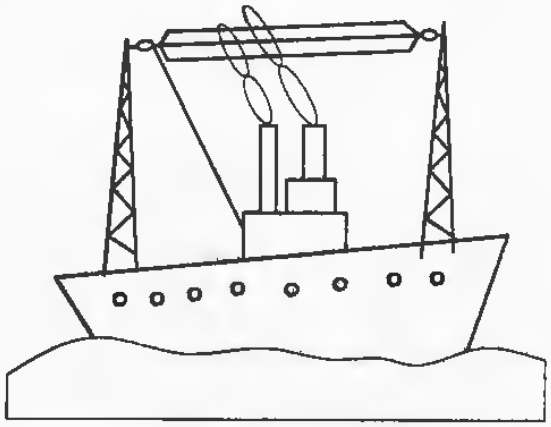


Рис. 11.3. Корабельная антенна

11.3. Зенитные антенны помогают открыть слой Хевисайда

При проведении своих опытов по радиосвязи Маркони обратил внимание что в вечернее и особенно в ночное время дальность связи значительно возрастает. Для объяснения этого явления необычного распространения радиоволн Хевисайд и независимо от него Кенелли в 1902 году выдвинули гипотезу о наличии ионизированного слоя в верхних частях атмосферы Земли, от которого могут отражаться радиоволны. Действительно, верхние слои атмосферы подвергаются воздействию жесткого солнечного и космического излучения. Следовательно, под его воздействием молекулы газа, из которого состоит воздух, должны подвергаться ионизации, т. е. от этих молекул под воздействием этого излучения будут с верхних орбит атомов сорваны электроны. Вследствие этого верхние слои атмосферы должны состоять из проводящего ионизированного газа и свободных электронов, распределенных в ионизированном газе. А такая смесь способна проводить электрический ток! Следовательно, от верхних слоев атмосферы возможно отражение радиоволн! (рис. 11.4).

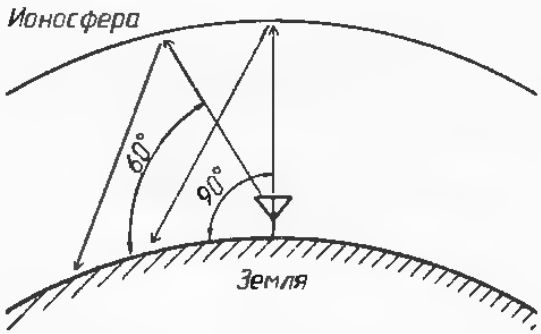


Рис. 11.4. Отражение волн от верхнего слоя атмосферы

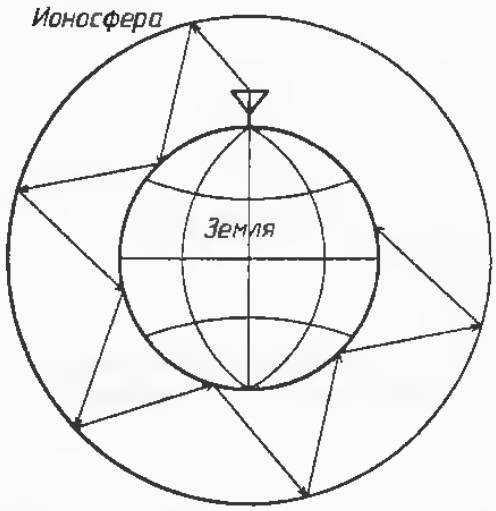


Рис. 11.5. Волноводное распространение длинных волн

Впоследствии верхние слои атмосферы стали называть «ионосферой» именно из-за наличия там ионов газа и свободных электронов. Для эффективного отражения радиоволн сверхдлинноволнового диапазона угол излучения радиоволн должен находиться в предалах 50...70° относительно горизонта. В этом случае наша планета Земля и верхний отражающий слой ионосферы образуют гигантский волновод, как показано на рис. 11.5. Распространяясь адоль этого волновода, радиоволны сверхдлинноволнового и длинноволнового диапазона волн могут пвкрыть весь земной шар.

Так, антенны зенитного излучения первых радиостанций помогли обнаружить слой Хевисайда, использование которого впоследствии сыграло революционную роль в развитии техники связи. Следует отметить, что наличие слоя Хевисайда долгое время не признавали даже авторитетные ученые того времени. Известный в то время авторитетный научный журнал «The Electrician», издававшийся в Англии, даже отказался принять статью на эту тему к публикации, объявив саму идею о возможности существования в верхних слоях атмосферы проводящего слоя антинаучной.

Сейчас-то мы знаем, что в ионосфере Земли существует несколько таких проводящих слоев. Днем существует нестабильный слой D, находящийся на высоте примерно 60...70 км от поверхности Земли. Свойства этого слоя таковы, что он сильно поглощает волны длинноволнового диапазона, хотя и частично отражает их. В результате этого для осуществления дальней связи на сверхдлинных и длинных волнах в дневное время с использованием слоя D приходится использовать передатчики большой мощности. Радиоволны, частота которых лежит ниже примерно 100 кГц, слой D эффективно отражает. В результате этого на сверхдлинных волных возможна глобальная радиосвязь в любое время суток, так как другие слои ионосферы тоже эффективно отражают волны сверхдлинноволнового диапазона.

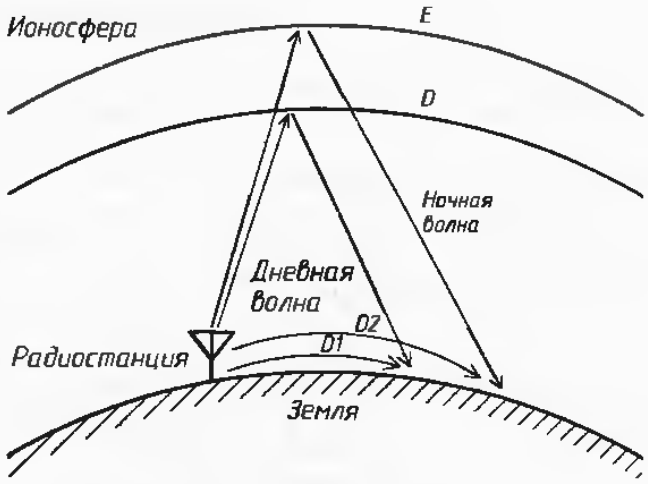


Рис. 11.6. Дневное и ночное распространение радиоволн

В вечернее и ночное время слой D исчезает и отражение радиоволн сверх длинноволнового и длинноволнового диапазона волн осуществляется от слоя E. Этот слой обладает хорошей проводимостью, особенно ночью, когда концентрация электронов в нем возрастает. Поэтому сверхдлинные и длинные волны отражаются от этого слоя с мвлыми потерями и дальность связи на сверхдлинных и длинных волнах в ночное время при той же мощности передатчиков значительно возрастает (см. рис. 11.6). Наличие слоя Хевисайда считалось теоретически спорным вопросом. Только в 1924 году было практически доказано существование слоя Хевисайда.

11.4. Зенитные антенны доказывают существование слоя Хевисайда

В 1924—1925 годах американские инженеры Г. Брейхт и М. Туве провели зондирование атмосферы. С помощью зенитных антенн был послан короткий зондирующий сигнал вертикально вверх. Затем был принят отраженный сигнал от слоя Хевисайда. Было открыто, что слой Хевисайда — это нестабильный слой, находящийся на определенной высоте, как предполагали до этого. Оказалось, что в верхних слоях атмосферы находятся несколько слоев, способных отражать радиоволны. Эти слои нестабильны по проводимости, их аысота может меняться. От свойств этих слоев зависит прохождение радиоволн на планете Земля.

Другой показательный эксперимент в 1925 году провела группа английских радиоинженеров из Кембриджского университета. Были сконструированы антенны, имевшие острую направленность и, сладовательно, позволявшие определить направление прихода сигналов. С помощью этих антенн принимали сигналы передатчика средних волн, находившегося на удалении около 400 км от приемных антенн. Антенны ясно показывали направление прихода сигналов — он приходил сверху. Так еще раз было подтверждено наличие проводящего слоя в верхних слоях атмосферы и возможность радиосвязи с использованием зенитных антенн.

11.5. Ионосферные станции

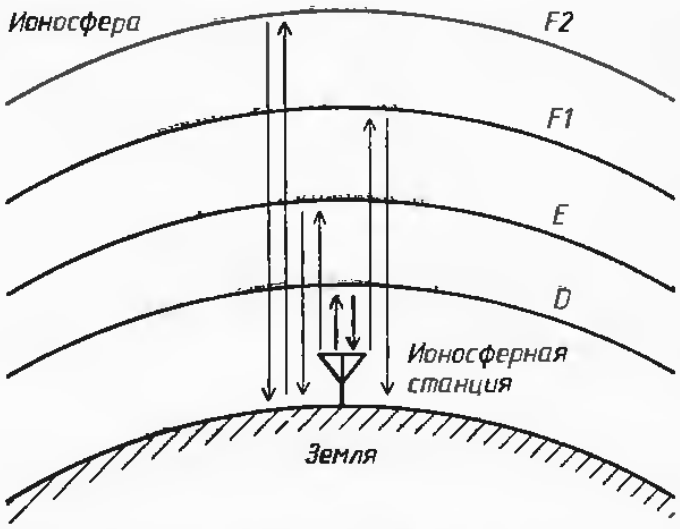


Рис. 11.7. Зондирование ионосферы Земли

Начиная с 1925 года повсеместно в мире начались строиться станции зондирования ионосферы. Ионосферные станции работали очень просто. Излучался короткий импульс с частотой, изменяющейся от 0,5 до 25 МГц. Затем принимался отраженный от слоев ионосферы этот же импульс. По времени запаздывания принимаемого сигнала относительно передаваемого определяли высоту различных проводящих слоев ионосферы. Начиная от какого-то значения частоты передаваемого сигнала, отражения радиоволн от ионосферы уже не было, радиоволны уходили в космос. Эта граничная частота, начиная с которой отсутствует ее отражение при падении волны с этой частотой перпендикулярно на ионосферу, называется максимально применимой частотой.

Главной частью этих станций была зенитная антенная система. Эта антенная система обычно работала в диапазоне 0,5...25 МГц и имела излучение, направленное вертикально вверх, как показано на рис. 11.7. В конце 30-х годов XX века уже сотни ионосферных станций, расположенных во многих странах мира, зондировали атмосферу Земли. На экранах индикаторов прочерчивалось положение слоев ионосферы, как показано на рис. 11.8. На рис. 11.9 показан график расположения слоев, E, F1, F2, построенный по данным ионосферной станции. Данные о высоте этих слоев, о значении максимально применимых частот (т. е. частот, которые отражаются от ионосферы при ее зондировании вертикально излучаемым сигналом) обрабатывались. На этом основании вычислялись оптимально применимые частоты, строились оптимальные трассы радиосвязи. Напомню, что в те времена только радиосвязь соединяла вместе многие уголки Земли и позволяла узнать о судьбе экспедиции, которые исследовали «белые пятна» планеты Земля.

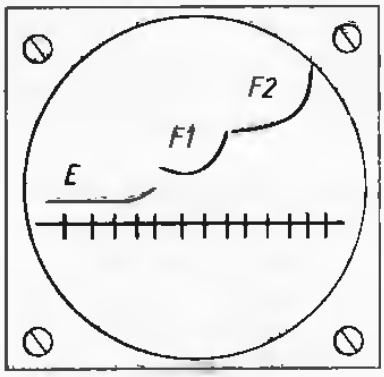


Рис. 11.8. Вид индикатора станции ионосферного зондирования

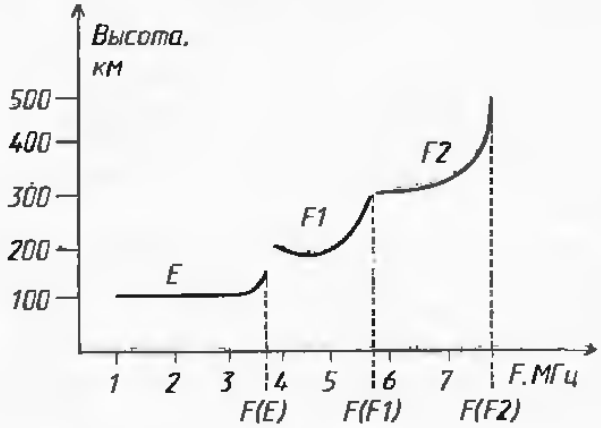


Рис 11.9. График расположения ионосферных слоев

Зенитные антенны исправно служили человечеству. На основе данных, полученных от работы ионосферных станций, в те времена были изучены основные свойства ионосферы Земли. Определялись оптимальные частоты для радиосвязи. Постепенно начиная с конца 40-х годов станции вертикального зондирования ионосферы сменили станции возвратно-наклонного зондирования. Эти станции позволяли определять оптимально применимые частоты с учетом реальной местности. И в этих станциях тоже работали зенитные антенны!

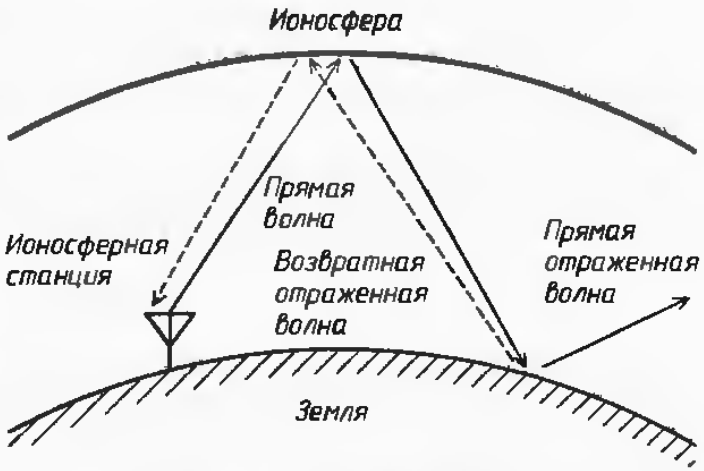


Рис. 11.10. Принцип работы возвратно-зондирующей ионосферной станции

Станции возвратно-наклонного зондирования с помощью зенитных антенн посылали импульсный сигнал под углом 60...70° к горизонту. При отражении радиоволн сначала от ионосферы а затем от точки *B*, лежащей на поверхности земли, часть энергии поступает обратно в точку *A*, где находится передатчик возвратно-зондирующей ионосферной станции. Принцип работы возвратно-зондирующей ионосферной станции показан на рис. 11.10. Определяя параметры отраженного от точки В сигнала можно определить оптимальные частоты для связи с местом, где расположена эта точка. При многоскачковом отражении можно определить оптимально применимые частоты и для этих точек. На эффекте обратного отражения от земли части радиоволн основана загоризонтная радиолокация.

12. АНТЕННЫ ЗЕНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАСТУПАЮТ

Итак, зенитные антенны исправно служили для определения оптимальных частот радиосвязи. А это связь с кораблями, находящимися далеко в море, связь с различными экспадициями, исследующими различные территории мира. Именно в те времена, в 30-х годах XX века, была разработана теория построения зенитных антенн, работающих в диапазоне коротких волн. Можно сказать, что начиная с 30-х годов XX века начинается эра бурного развития коротковолновых антенн и, конечно, коротковолновых антенн зенитного излучения.

Развитие автомобилестроения дало громадный рынок автомобильных приемников. Специальное вещание для автомобилистов осуществлялось при помощи зенитных антенн. Короткие автомобильные антенны тоже можно условно отнести к классу зенитных антенн.

Перад Второй мировой войной развитие радиосвязи в вооруженных силах осущаствлялось стремительными темпами. Большое значение имела надежная ближняя радиосвязь — на расстоянии до 200...300 км, которая должна быть осуществлена в любое время суток. Для обеспечения такой связи оптимально подходили радиостанции, работающие на антенны зенитного излучения. С помощью антенн зенитного излучения работающих в диапазоне коротких волн 90—60 метров в то время было возможно достаточно просто осуществить такую радиосвязь. Приемопередающая аппаратура для работы в диапазоне волн 90—60 метров в то время была достаточно хорошо разработана. Начинающаяся Вторая мировая аойна подталкивала к использованию этого вида связи в армии.

В этой главе мы рассмотрим упрощенную теорию работы антенн зенитного излучения. Это поможет нам понять, в каких областях радио могут быть использованы эти антенны, и понять какие ограничения накладываются при их работе.

Но рассказ об истории зенитных антенн будет неполным, если мы не остановимся на еще одной интересной области их использования в то время, на том, что сейчас называют SETI (Search ExTerritorial Intellect).

12.1. SETI

Да, начало поиска внеземного разума с помощью радио относится к 20—30-м годам прошлого века. Эйфория успехов в освоении радио вскружила голову многим радиоинженерам. Именно в те времена с помощью зенитных антенн начали посылать различные сигналы вертикально вверх, в космос, в надежде установить связь... С кем? С Марсом, с Луной, с другими планетами. В те времена человечество было уверено, что оно не одиноко в нашей Солнечной системе, что другие планеты обязательно обитаемы. Человечество переживало повальное увлечение астрономией. Миллионы людей наблюдали каналы на Марсе, уже сообщали об «открытии» рек на Марсе, «видели» искусственные строения на Марсе и Луне. Верили, что еще немного — и земляне установят контакт с другими планетами. В то время даже не сомневались, что установление контакта произойдет в скором будущем, возможно, в ближайшие годы.

Теперь, уже в XXI веке, обладая огромным современным научным и техническим потенциалом, мы понимаем, что, наверное, сейчас мы еще более далеки от установления такого контакта, чем в те времена XX века. Грандиозные и дорогостоящие программы, направленные на поиск внеземного разума, на мониторинг космического излучения с целью найти сигналы искусственного происхождения, на посылку своих радиограмм в космос ничего не дали... Мы до сих пор не можем пока сказать, одиноки ли мы во Вселенной или нет...

Но а те далекие 20—30-е годы прошлого века первые антенны зенитного излучения, направленные в космос, передавали первые сообщения человечества о себе.

12.2. Автомобильные зенитные антенны

Но где еще, кроме ионосферных станций, в 20—40-х годах прошлого века применялись зенитные антенны?

Для нужд дальней радиосвязи в те времена старались использовать антенны с диаграммой направленности, прижатой к горизонту. Антенны с прижатой к горизонту диаграммой направленности по сравнению с зенитными антеннами давали возможность при той же подводимой к антеннам мощности увеличить дальность связи. Никто не хотел излучать вертикально вверх мощность, которая бы не использовалась для полезных целей. В результате этого для радиосвязи начали использовать коротковолновые антенны, которые практически не излучали вверх. Антенны длинноволновых и средневолновых вещательных радиостанций проектировались и строились с минимальным зенитным излучением. Казалось, что передающие зенитные антенны останутся только в станциях ионосферного зондирования.

Но середина 20-х годов — это еще и начало массового использования автомобилей, что повлекло за собой широкое производство автомобильных радиоприемников. Для нужд автомобилей в 30-е годы были разработаны специальные виброустойчивые лампы в металлическом корпусе, с напряжением накала 6,3 В, которые вплоть до 70-х годов XX века использовались в различной ламповой аппаратуре. Именно такое напряжение тогда использовалось в автомобильных

аккумуляторах. В этой связи можно напомнить, что многие автомобильные компании в настоящее время готовятся к переходу на напряжение автомобильных аккумуляторов 24 и даже 48 В. Но вернемся назад в XX век.

Пожалуй, невозможно перечислить все изобретения, которые были сделаны только ради достижения одной цели: чтобы человек мог слушать приемник в автомобиле!

Штыревые антенны приемников тех древних автомобилей мало чем отличались от штыревых антенн современных автомобилей. Приемную автомобильную антенну тогда размещали на заднем бампере или на крыше автомобиля. Штырь автомобильной антенны был высотой 1—1,5 м. Часто конец штыря был привязан к корпусу автомобиля. Такая антенна имеет практически круговую диаграмму в горизонтальной плоскости и обеспечивает прием сигналов, отраженных от ионосферы, под большими углами. Следовательно, такую автомобильную приемную антенну вполне можно условно отнести к классу зенитных антенн.

Радиостанции тех времен работали в диапазонах длинных, средних волн и на участках коротковолнового диапазона волн. Количество автомобилей в мире стремительно увеличивалось, увеличивалось и число радиоприемников, установленных а них. Следовательно, в мире возрастало количество зенитных антенн. Это привело к тому, что начиная с 30-х годов XX века зенитные антенны стали самым многочисленным классом антенн в мире.

Но читатель может подумать, что это был самый многочисленный класс антенн по приемным антеннам. Действительно, сначала это было так. Однако начиная с середины 30-х годов в мире начинает широко развиваться местное радиовещание. В то время для местного радиовещания не использовались ультракороткие волны, как в наше время. Местное радиовещание велось в диапазонах длинных, средних и коротких волн. Именно для станций местного вещания, работающих в диапазоне коротких волн, а это был диапазон 90—60 метров, стали использоваться передающие зенитные антенны. Волны коротковолнового диапазона прямой волной распространяются на малое расстояние вдоль поверхности земли. Любое препятствие на их пути, соизмеримое с длиной волны, может создать радиотень, в области которой прием будет значительно ухудшен или даже невозможен.

При использовании передающих зенитных антенн коротких волн, излучающих радиоволны вертикально вверх, области радиотени не будет. Это происходит потому, что радиоволна приходит на антенну приемника не прямым путем, вдоль поверхности Земли, а при отражении от проводящих слоев ионосферы, как показано на рис. 12.1. Разберем работу коротковолновой вещательной станции с использованием антенн зенитного излучения.

Волна диапазона 90—60 метров, излученная вертикально вверх, проходит через слой D. Слой D, существующий в дневное время, будет незначительно поглощать волны этого диапазона. Стабильный слой E, существующий днем и ночью, отразит эти волны обратно на землю. В результате этого днем в области, ограниченной радиусом примерно 200 км будет возможен стабильный прием этой радиостанции. Ночью слой D исчезает, а слой E немного поднимается вверх. В результате этого в ночное время радиус действия этой радиостанции, использующей зенитную антенну, возрастает до 300 км и более.

Первые западные КВ радиостанции местного вещания были ориентированы на автомобилистов, имевших значительный парк радиоприемников. Поэтому первоначально местные вещательные коротковолновые радиостанции даже назывались «автомобильными радиостанциями».

Далее мы рассмотрим упрощенную теорию работы зенитных антенн и некоторые ограничения, возникающие при их использовании.

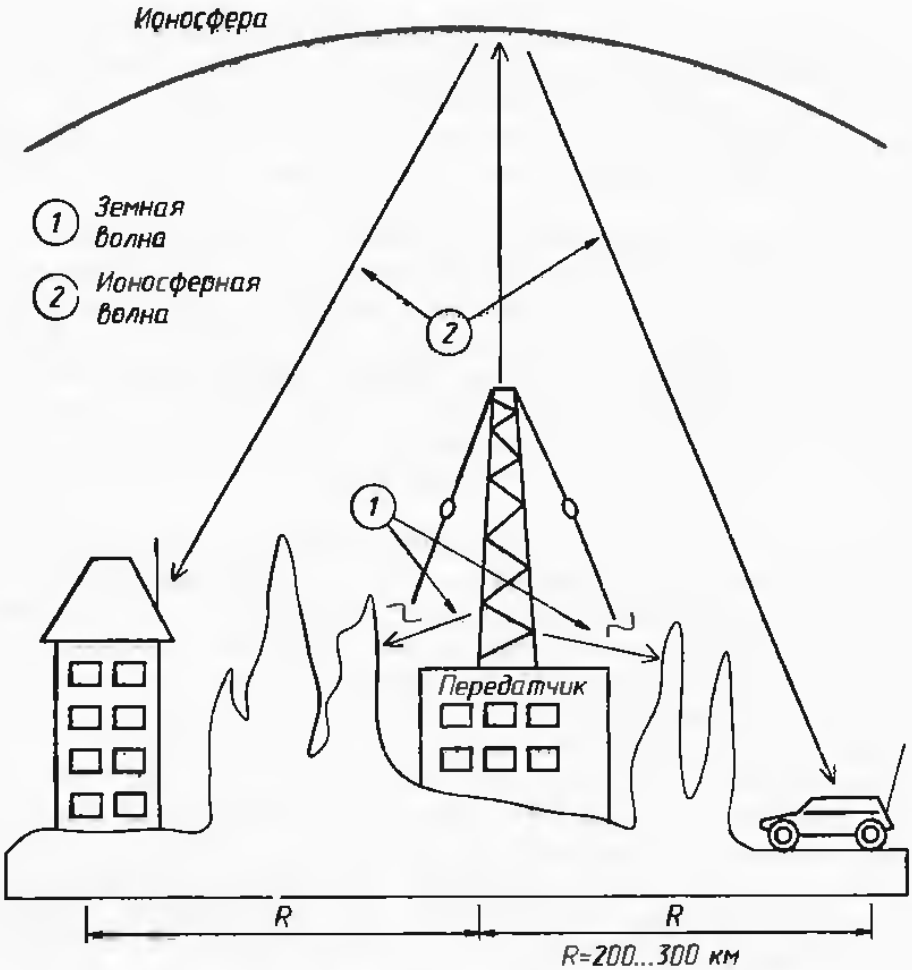


Рис. 12.1. Работа коротковолновой станции зенитного излучения

12.3. Круговая поляризация при работе зенитных антенн

При использовании антенн зенитного излучения для целей радиосвязи и радиовещания желательно использовать антенны, обеспечивающие работу с круговой поляризацией.

При использовании круговой поляризации при работе с отражением от слоев ионосферы будет обеспечен наиболее качественный прием на малогабаритные приемные зенитные антенны автомобильных приемников. Рассмотрим необходимость использования круговой поляризации при работе коротковолновых антенн зенитного излучения.

При падении на ионосферный проводящий слой радиолуч расщепляется на две составляющие, одну из которых называют «обыкновенным» лучом, а вторую — «необыкновенным» лучом. Это происходит потому, что под действием магнитного поля Земли ионосфера приобретает свойство двоякопреломляющей среды (см. подробнее [1]). При прохождении через ионосферу под действием магнитного поля Земли эти составляющие отражаются на разных высотах, испытывая разное поглощение. Вследствие этого они приходят в точку приема, имея разные случайные амплитуды и фазы. С течением времени происходит случайное изменение этих амплитуд и фаз, отраженных радиоволн. Это приводит к глубоким интерференционным замираниям. Отражение «обыкновенной» и «необыкновенной» волн показано на рис. 12.2.

В то же время было обнаружено, что если падающая на ионосферу под большими углами — 60...90° радиоволна имеет круговую поляризацию, то в зависимости от направления вращения вектора Е падающей волны отраженная волна будет иметь преимущественную составляющую.

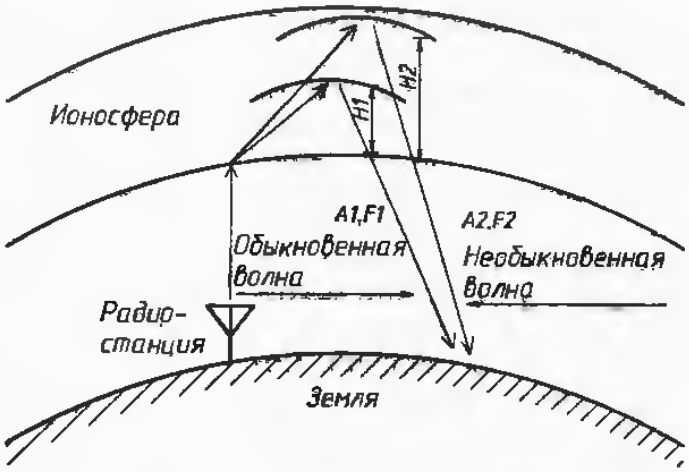


Рис. 12.2. Отражение «обыкновенной» и «необыкновенной» волн

Днем, когда поглощение радиоволн коротковолнового диапазона в ионосфере сравнительно велико — присутствует слой D, целесообразно использовать отраженную «обыкновенную» волну. Ночью на той же частоте более эффективно отражается «необыкновенная» волна. Поэтому а коротковолновых антеннах зенитного излучения стараются использовать круговую поляризацию с оперативным переключением направления вращения вектора Е излученного электромагнитного поля.

Другое ограничение в коротковолноаой связи с использованием зенитных антенн — это частоты работы. Оптимальные частоты для использования в связи с использованием антенн зенитного излучения составляют от 3 до 5 МГц.

При использовании частот ниже 3 МГц увеличивается их поглощение в слое ионосферы D. Для диапазона частот 4...5 МГц начинает проявляться другой эффект, ограничивающий применение антенн зенитного излучения. Начинается отражение не только от слоя Е, но и от других верхних проводящих слоев ионосферы — F1, F2, как это показано на рис. 12.3. В этом случае расщепление радиоволны на «обыкноаенную» и «необыкновенную» может происходить не только в слое Е, но и в слое F1.

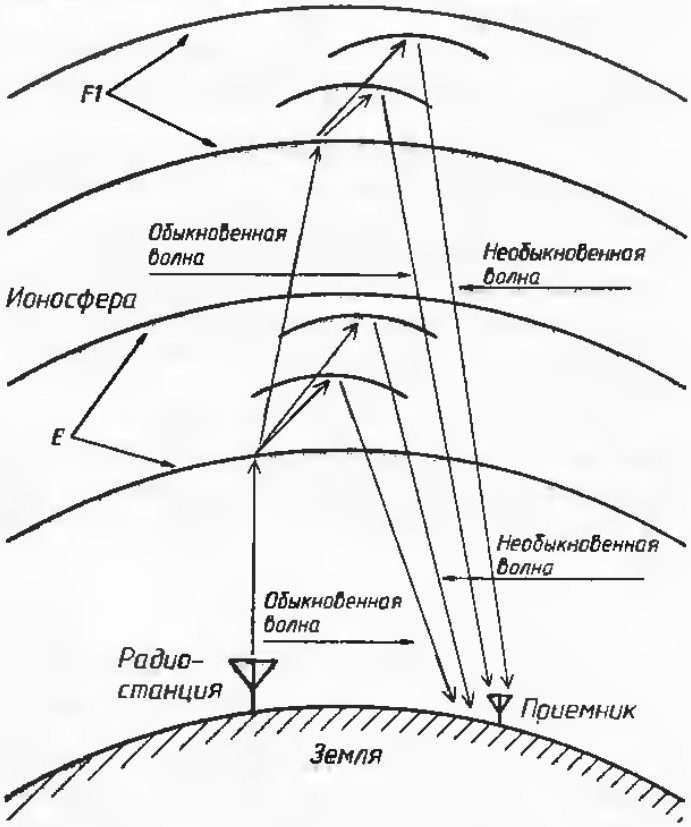


Рис. 12.3. Отражение радиоволны от нескольких слоев ионосферы

В результате этого в месте приема приходят не менее 4 лучей, имеющих разную фазу и амплитуду. Поскольку фаза и амплитуда этих волн постоянно меняется, то сигнал в месте приема будет подвержен сильным замираниям. Хотя работа с кругоаой поляризацией уменьшает такие замирания сигналов, но вместе с тем не устраняет их полностью.

Частоты выше 5 МГц не используются для организации связи в радиусе 200...300 км от зенитной антенны, поскольку отражение частот этого диапазона происходит от слоя F2, лежащего на высоте более 400 км. В результате этого будет существовать «мертвая зона» в радиусе около 100...500 км от антенны. Область связи, обеспечиваемая этой антенной, может находиться на расстоянии более 400...500 км в радиусе от нее. Зона «освещения» и «мертвая» зона зенитной антенны, работающей на частотах выше 5 МГц, показана на рис. 12.4. На частотах выше 5 МГц начинает уже сказываться изменение свойства слоев F1, F2 в зависимости от времени суток, от времени года, от состояния Солнца. В результате этого устойчивая связь на этих частотах с использованием зенитных антенн становится проблематичной.

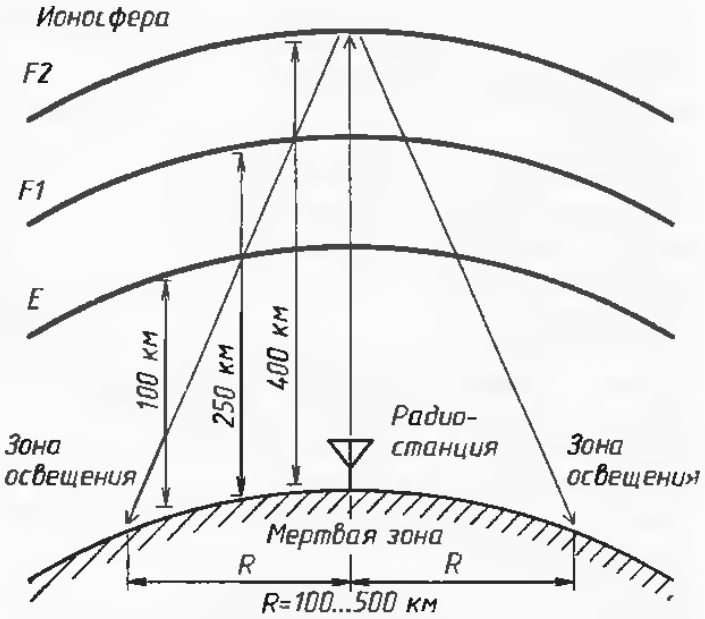


Рис. 12.4. Зона «освещения» и «мертвая» зона зенитной антенны, работающей на частотах выше 5 МГц

На частотах выше 14 МГц вертикально посланный луч уходит в космос и радиосвязь с земными объектами с использованием зенитных антенн становится невозможной.

Итак, для улучшения качества приема следует использовать радиоволны, имеющие круговую поляризацию. Для создания круговой поляризации обычно используются антенны, имеющие значительные физические линейные размеры. Часто антенные системы, синтезирующие волну с круговой поляризацией, имеют вертикальные и горизонтальные элементы в своем составе. В некоторых случаях такие антенны должны быть или установлены на определенной высоте над землей, или использовать громоздкую систему искусственной земли, выполненной в виде металлической сетки.

Все это вадет к тому, что очень трудно создать компактную конструкцию зенитной антенны, установленной на автомобиле и работающей с кругоаой поляризацией. Поэтому используют автомобильные зенитные антенны, работающие или с сильно вытянутой эллиптической поляризацией, или с линейной поляризацией.

12.4. Виды связи с использованием зенитной антенны

Во время Второй мировой войны и некоторое время после нее для связи использовались в основном режимы амплитудной телеграфии при передачи различных сообщений и режим амплитудной модуляции при передаче речи. Эти режимы работы с использованием отражения от слоя E зенитная антенна вполне обеспечивала. Но дальнейшее развитие современных высокоскоростных цифровых видов связи, таких как телетайп, факс, усложнило применение зенитной антенны для их использования. Разберем почему.

При работе зенитной антенны, как мы уже знаем, возникают интерференционные искажения сигналов в месте их приема, которые затрудняют использование цифровых видов связи. Самое неприятное искажение, возникающее при распространении сигналов при зенитном отражении, — это ближнее радиоэхо. Возникновение ближнего радиоэха показано на рис. 12.5. Радиоволна от передатчика, расположенного в точке *А* к приемнику, расположенному в точке *В*, может попасть несколькими путями (лучами). Первый путь (луч *1*) — это траса радиосвязи зенитным излучением. Но в точку *В* поступают еще лучи *2*, *3*, *4*, являющиеся отраженными волнами. Эти отраженные волны, или ближнее радиоэхо, могут существенно ухудшить качество приема цифровых видов излучения.

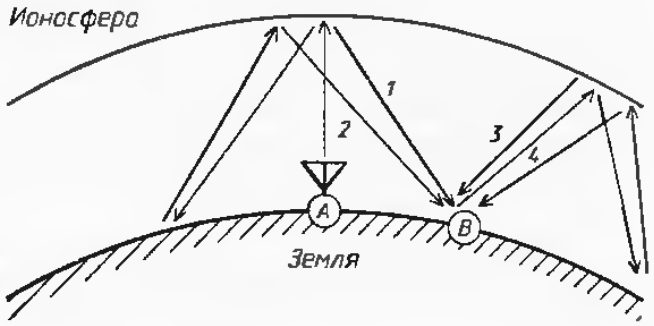


Рис. 12.5. Возникновение ближнего радиоэха

Другой вид искажений, который существенно ухудшает прием цифровых видов излучения, возникает при диффузном рассеянии радиоволн. Дело в том, что ионосфера не является гладким отражающим экраном. Неизбежные неоднородности, присутствующие в ионосфере, приводят к тому, что вместо зеркального отражения лучей от ионосферы возникает их частичное диффузионное отражение, как показано на рис. 12.6. В результате этого отраженный луч расщепляется на множество элементарных лучей. Следовательно, в место приема поступает пучок лучей, имеющих разную фазу и амплитуду. Непрерывное изменение фаз и амплитуд элементарных лучей в пучке приводит к сильным замираниям и искажениям сигнала, что затрудняет использование цифровых видов связи.

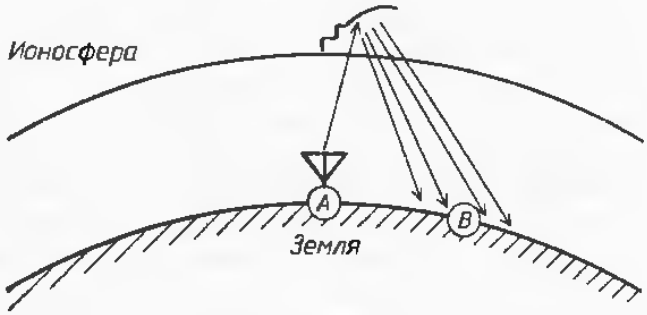


Рис. 12.6. Диффузное рассеяние радиоволн

При дальнем распространении радиоволн замирание за счет диффузного рассеяния радиоволн не играют такой роли, как при работе зенитных антенн, поскольку пучок лучей в месте их прихода значительно расширяется и существенной интерференции радиоволн в месте их приема за счет диффузного рассеяния не происходит. На рис. 12.7 показано дальнее распространение радиоволн при их диффузном отражении от ионосферы.

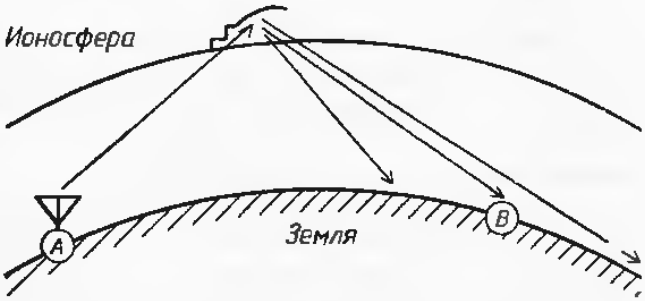


Рис. 12.7. Дальнее распространение радиоволн их при диффузном рассеянии

Следует еще упомянуть поляризационные искажения при зенитном отражении радиоволн, которые вносят свою долю ошибки при связи цифровыми видами излучения. Они обусловлены тем, что волна с линейной поляризацией, падающая вертикально на ионосферу, при отражении от ионосферы меняет поляризацию.

Причем это изменение угла наклона вектора электрической поляризации отраженной волны происходит в течение некоторого времени.

Все перечисленные выше искажения сигналов при зенитном отражении заставляют увеличивать мощность передатчика и использовать специальные методы обработки цифровых сигналов. Все это усложняет приемопередающую аппаратуру, используемую для цифровых видов связи с помощью антенн зенитного излучения в диапазоне коротких волн.

На разборчивость речи и на прием амплитудной телеграфии эти типы искажений не влияют столь сильно. Поэтому антенны зенитного излучения в основном используются в системах телефонной и телеграфной связи и редко для систем цифровых видов связи.

12.5. Работа зенитных антенн возимых станций

Практически любая электрически укороченная антенна, установленная на автомобиле, может обеспечивть работу зенитной волной, т. е. значительная величина мощности излучается этой антенной под большими углами к горизонту. Выше было показано, что любая зенитная антенна с линейной поляризацией обеспечивает сигнал на обслуживаемой ею территории, подверженный глубоким замираниям из-за сложения обыкновенного и необыкновенного луча в месте его приема. Сущаствуют еще и поляризационные замирания, которые еще болве ухудшают качество приема. В результате изменения поляризации при отражении от ионосферы на место приема приходит сигнал с непрерывно меняющимся направлением вектора поляризации. Это еще более затрудняет использование зенитных антенн, имеющих только один вид линейной поляризации — горизонтальной или вертикальной.

Но нужды радиосвязи заставляют использовать для двухсторонней связи на коротких волнах даже небольшие автомобильные антенны с линейной поляризацией. Такие антенны могут быть использованы в качестве приемных антенн, которые установлены на автомобилях и предназначены для приема сигналов от стационарных зенитных антенн, использующих круговую поляризацию. Если передвижное средство, на котором установлена зенитная антенна, достаточно велико по размерам, то на нем иногда устанавливают зенитную антенную систему, позволяющую работать с круговой (вернее в этом случае с эллиптической) поляризацией. Но в основном используются антвнны только с линейной поляризацией, поскольку эти антенны значительно проще по конструкции и настройке антенн, обеспечивающих работу с круговой поляризацией.

В принципе практически нет разницы, какой вид линейной поляризации использовать в зенитных антеннах коротких волн — горизонтальной или вертикальной. Любой вид линейной поляризации при зенитном отражении от ионосферы подвержен поляризационному изменению. Волна с любым видом линейной поляризации, горизонтальной или вертикальной, расщепляется в ионосфере на «обыкновенную» и «необыкновенную», в результате чего при достижении этих волн земли происходит их интерференция.

Но электрически короткая антенна, расположенная близко от поверхности земли, каковой является любая антенна зенитного излучения, установленная в автомобиле, имеет одну интересную особенность. Благодаря ее близкому расположению относительно поверхности земли, она одинакового хорошо может принимать волны, имеющие как вертикальную, так и горизонтальную поляризацию. Это значит, что небольшвя вертикальная антенна, установленная на автомобиле, будет принимать радиоволны и с горизонтальной поляризацией, а горизонтальная антенна, установленная на автомобиле, будет принимать волны и с вертикальной поляризацией.

Но сразу же сделаю разъяснение этого феномена. Это происходит только потому, что на границе раздела воздух/слабопроводящая почва изменяется наклон вектора электрической поляризации падающей или распространяющейся вдоль

поверхности земли радиоволны. Это происходит в результате потери части мощности радиоволны в почве, и, конечно, измененная волна будет иметь меньшую напряженность поля, чем та же волна, падающая из ионосферы.

Чем выше проводимость почвы, тем меньше изменение вектора наклона. Электрически короткая антенна, работающая с одним видом поляризации и расположенная над идевльной проводящей поверхностью, например над соленым морем, уже может стать неспособной рвботать с другим видом поляризации. То же самое относится к электрически короткой антенне, расположенной над непроводящей почвой, например над песками пустыни. Из зтого следует, что электрически короткая антенна с зенитным излучением будет эффективно работать в тех районах, где почва является плохим проводником для электромвгнитных волн.

12.6. Эффективность работы антенн зенитного излучения коротких волн

Действительно, эффективность линий связи с использованием антенн зенитного излучения коротких волн невелика по сравнению со многими другими линиями связи. Это происходит по той причине, что звнитнов отрвжение радиоволн от ионосферы незффективно. Вследствие диффузного рассеяния радиоволн возрастает площадь «освещения», которую обеспечивает антенна зенитного излучения. Часть радиоволн не отражается при зенитном падении луча, а уходит в верхние слои ионосферы, где радиоволны частично поглощаются, частично уходят в космос, частично отражаются на Землю. При использовании зенитной антенны происходят большие искажения сигнала за счет интерференции радиоволн.

Зенитные антенны мобильных станций являются укороченными антеннами, поэтому эффективность их действия невысока. Современные средствв радиоэлектронной борьбы могут эффективно подавить линии связи с использованием антенн зенитного излучения. Это приводит к тому, что в армиях мира антенны звнитного излучения для проведения связи используются все реже и реже. Но в то же время радиолюбители используют этот тип антенн все чаще и чаще, так как работа из автомобиля стала уже привычным для радиолюбителей делом.

Но даже обладая небольшой эффективностью, укороченные антенны зенитного излучения успешно используются для работы на передвижных объектах. Мощность, подводимвя к антеннам, установленным на передвижных объектах, в зависимости от мощности передатчика составляет от 40 Вт и до 1...2 кВт.

Для работы стационарных вещательных антенн зенитного излучения используют мощность от нескольких сотен ватт до десяти киловатт. Такой мощности достаточно для обеспечения уверенной связи или уверенного радиовещания на территории, перекрываемой зонами действия этих внтенн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. — М.: Связь, 1965.

13. СТАЦИОНАРНЫЕ ЗЕНИТНЫЕ АНТЕННЫ

Также мы рассмотрим коротковолновые антенны зенитного излучения стационарных радиостанций. Эти антенны использовались или используются как на вещательных коротковолновых радиостанциях, так и для служебной и военной связи. Возможно применение зтих антенн и для радиолюбительских целей. Будут описаны как сложные, так и простые стационврные зенитные антенны.

13.1. Турникетная зенитная антенна

Наиболее простой антенной зенитного излучения, обеспечивающей работу с круговой поляризацией, является турникетная антенна [1]. Схема зенитной турникетной антенны упрощенно показана на рис. 13.1. Турникетная антенна выполнена из двух взаимно перпендикулярных вибраторов. При питании этих вибраторов со сдвигом фаз 90° излученная электромагнитная волна имеет круговую поляризацию в направлении, перпендикулярном к осям вибраторов. При сдвиге фаз, отличном от 90°, радиоволна будет иметь эллиптическую поляризацию. При переключении питания вибраторов из точек А в точки В будет меняться направление вращения вектора поляризации. Для получения диаграммы направленности, близкой к круговой в вертикальной плоскости и направленная вверх (зенитная диаграмма направленности), длина плеч вибраторов должна лежать в пределах (0,2...0,3)λ.

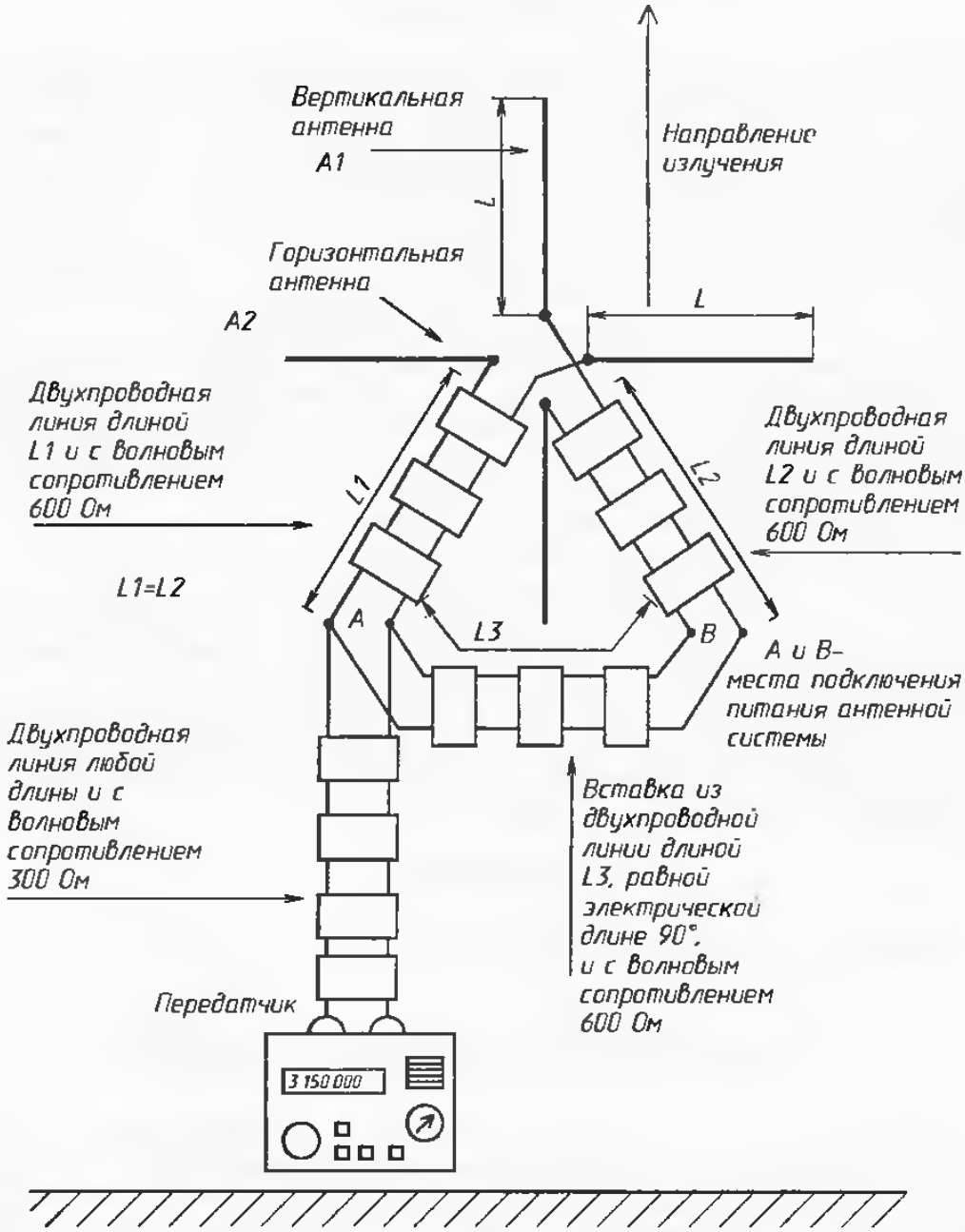


Рис. 13.1. Схема зенитной турникетной антенны

Для хорошего согласования с фидером, имвющим волновое сопротивление, лежащее в пределах 300 Ом, длина плеч вибраторов выбирается в пределах (0,4...0,5)λ. При использовании соответствующих согласующих устройств эта антенна при своих неизменных размерах может работать как раз в учвстке КВ диапазона, равном 90—60 метров, который используется для рвботы зенитными внтеннами. В качестве фазирующей линии на 90° часто применяют искусственную цепь, обеспечивающую необходимую фазовую задержку. Такие антенны использовались на первых коротковолновых станциях, работавших в режиме зенитного излучения. Иногда такие антенны использовались в военных передвижных радиоцентрах, работавших с зенитным излучением.

13.2. Стационарная зенитная антенна с острой диаграммой направленности

Выше мы рассматривали простую стационарную зенитную антенну (см. рис. 13.1), обеспечивающую работу круговой поляризацией. Ниже мы рассмотрим две относительно сложные антенны, имеющие зенитную диаграмму направленности и обеспечивающие работу круговой поляризацией. Эти антенны использовались как в вещательных КВ радиостанциях, использующих зенитное излучение, так и в радиостанциях служебной связи и в военных радиостанциях, работающих зенитной волной. Поскольку диапазон работы антенн зенитного излучения лежит в области 90—60 метров, то и эти антенны рвботают в этом диапазоне волн.

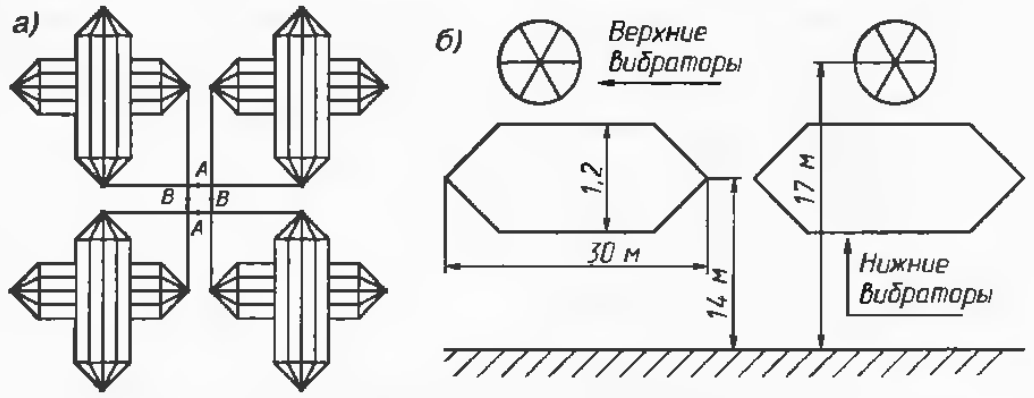


Рис. 13.2. Конструкция стационарной зенитной антенны

Типичная стационарная антенна зенитного излучения, широко используемая в СССР начиная с конца 40-х годов, показана на рис. 13.2 [1]. Эта антенна состоит из четырех широкополосных цилиндрических вибраторов, которые расположены таким образом, что в плане образуют четыре крестообразные группы. Центры нижних вибраторов находятся на высоте 14 м над землей, центры верхних вибраторов находятся на высоте 17 м над землей. Под антенной расположено заземление в вида сетки из взаимно перпендикулярных проводов диаметром 2 мм. Размеры заземления 100×100 м, шаг сетки 1×1 м.

Длина плеча вибратора равнв 30 м, диаметр 1,2 м. Вибратор образован из шести биметаллических проводов диаметром 4 мм. Схема питания антенны показана на рис. 13.3. От передатчика идат фидер с волновым сопротивлением 300 Ом. К концу этого фидера параллельно подключены две питающих пары вибраторов фидера с волновым сопротивлением по 600 Ом. В том случае, если длины фидеров *L1* и *L2* будут равны между собой и вставка *L3* отсутствует, антенна излучает линейно поляризованную волну. Если в один из фидеров *L1* или *L2* включается вставка, представляющая собой двухпроводную линию с волновым сопротивлением 600 Ом и длиной 15 м, то антенна работает с круговой поляризацией. В зависимости от

того, в какой фидер — *L1* или *L2* включена вставка, меняется и направление вращения вектора круговой поляризации на правое или на левое.

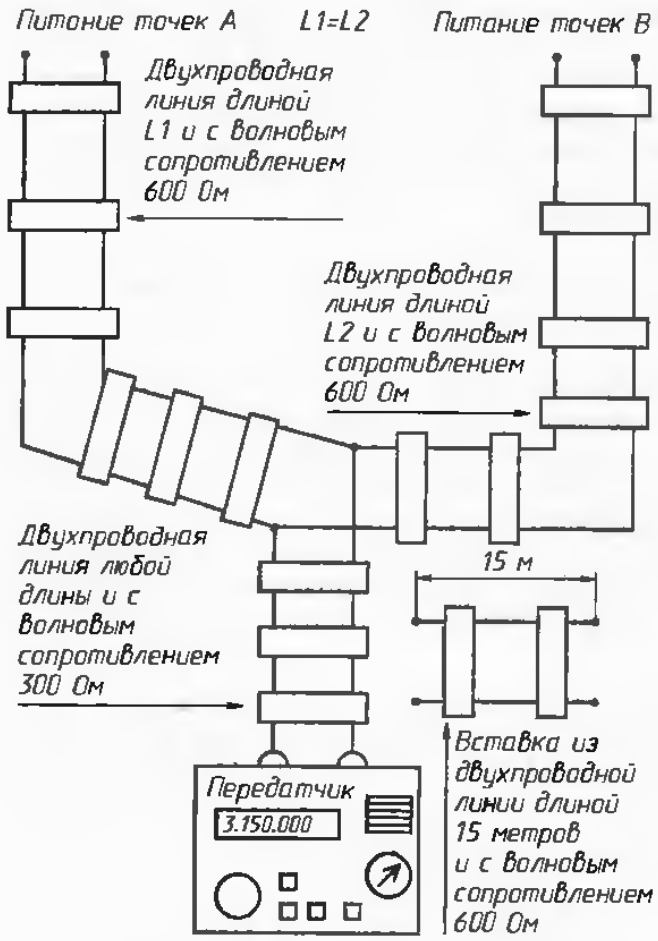


Рис. 13.3. Схема питания антенны зенитного излучения

Антенна обеспечивает КБВ в двухпроводной линии не менее 0,6 на краях диапвзонов работы антенны 90 и 50 метров, в диапазоне длин волн 65—70 метров КБВ не хуже 0,8. В этой антенне отсутствуют вертикальные части. Волна с круговой поляризацией образуется за счет отражения волн, излученных широкополосными вибраторами от искусственной земли, и затем соответствующаго сложения этих волн в пространстве. Данная антенна очень зффективнв в работе. Она обеспечивает уееренный прием в зоне радиусом 200...300 км днем и до 400 км ночью от антенны. Выбор направления вращения вектора поляризации позволяет в значительной степени уменьшить замирания, возниквющие из-за расщепления волны в ионосфере на обыкновенную и необыкновенную.

13.3. Стационарная зенитная антенна с квадратными излучателями

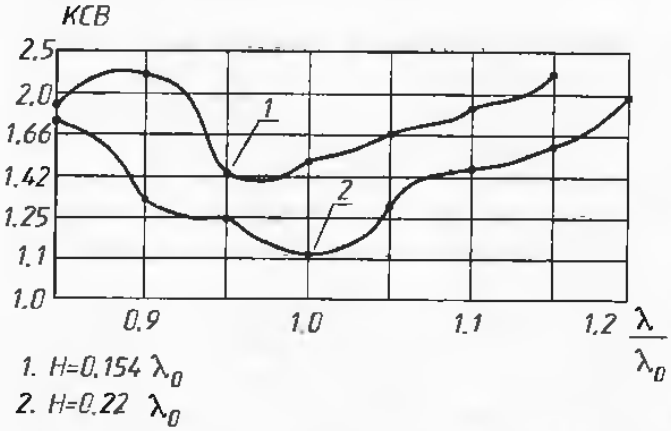


Рис. 13.4. КБВ зенитной антенны с квадратными излучателями

Рассмотрим еще одну конструкцию простой стационарной зенитной антенны [1]. Эта антенна выполнена из квадратных излучателей. Конструкция антенны показана на рис. 13.5. Каждый квадрвтный излучатель выполнен из биметаллического провода диаметром 6 мм. Длина диагонали квадрвтного излучателя сотвляет $0{,}395\lambda_0$. Питвние подводится к точкам *А* и *В*. Система питания этой антенны аналогична системе питания, показанной на рис. 13.3. Таким же образом осуществляется работа с линейной или круговой поляризацией.

Антенна из квадратных излучателей подаешивается на высоте (0,15...0,25)λ_0 над землей. Под антенной укладывается заземление в виде сетки из взаимно перпендикулярных проводов. Система заземления для антенны, использующей квадратные излучатели, аналогична системе заземления для антенны, показанной на рис. 13.2. График КБВ антенны показан на рис. 13.4. При необходимости получить еще более острую диаграмму направленности объединяют в фвзированную антенную систему несколько таких антенн.

Как видно из вышеописанного, стационарная зенитная антенна представляет собой сложную систему, которвя занимает много места и требует много материвлов для своего изготовления. Поскольку зти антенны достаточно широкополосны, они практически не требуют настройки при их изготовлении. Это является тоже одним из достоинств антенн зенитного излучения.

Следует обретить внимание читателя на то, что сведения о стационарных внтеннах зенитного излучения, показанных на рис. 13.1, 13.2, 13.5, компактно привадены в литературе [1].

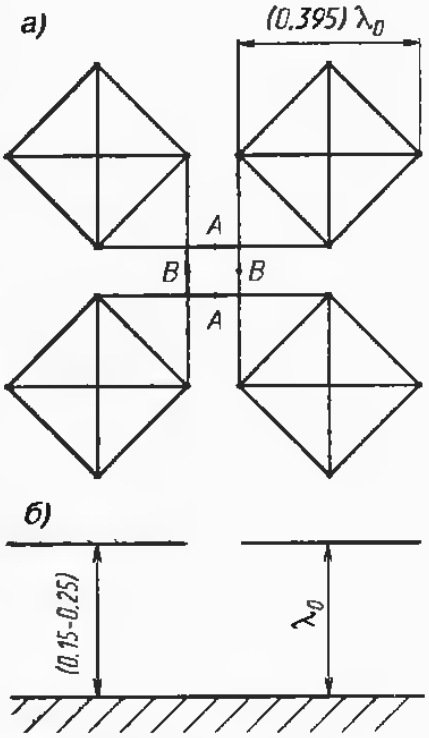


Рис. 13.5. Простая стационарная зенитная антенна

13.4. Простые антенны зенитного излучения

Выше мы рассмотрели сложные антенны зенитного излучения, обеспечивающие работу с круговой поляризацией. Но иногда используются простые внтенны зенитного излучения, которые обеспечивают работу только с линейной поляризацией. Такие антенны могут быть использованы радиолюбителем для проведения местных радиосвязей на диапазонах 160, 80 и 40 метров. Наиболее простая антеннв твкого типа показана на рис. 13.6. Это вариант инвертед V антенны с рефлектором.

Это самая простая антенна для работы зенитным излучением, которая может быть выполнена в любительских условиях, поскольку содержит только одну мачту. Если радиолюбитель сможет установить две мачты под антенну, он может выполнить дипольную зенитную антенну с рефлектором. Схема такой антенны показана на рис. 13.7. Для этой антенны уже требуется гораздо больше места, чем для инвертед V антенны с рефлектором.

Если зенитные антенны, показанные на рис. 13.6 и 13.7, будут уствновлены над землей с высокой проводимостью, рефлектор можно не устанавливать. В этом случае очень хорошие результаты можно получить, используя рамочную антенну, расположенную нв высоте (0,15...0.2)λ над поверхностью земли, как это поквзвно на рис. 13.8.

Для питания антенн, показанных на рис. 13.6, 13.7, 13.8, можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Этот кабель должен идти перпендикулярно поверхности земли. Желательно использовать симметрирующее устройство или высокочастотный дроссель в точках питания антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Г. З. и др. Коротковолновые антенны. — М.: Радио и связь, 1985. — 536 с.

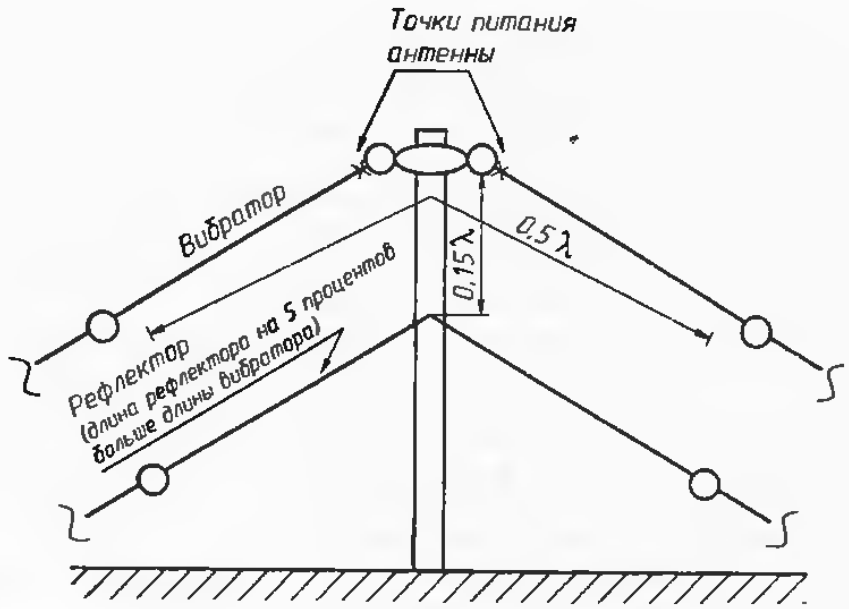


Рис. 13.6 Инвертед V антенна с рефлектором

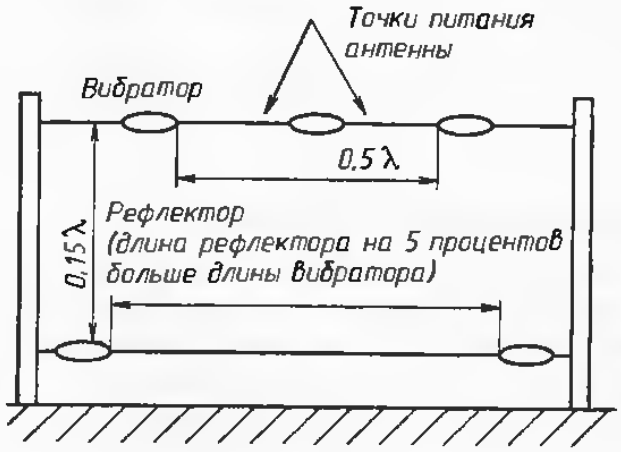


Рис. 13.7. Дипольная зенитная антенна с рефлектором

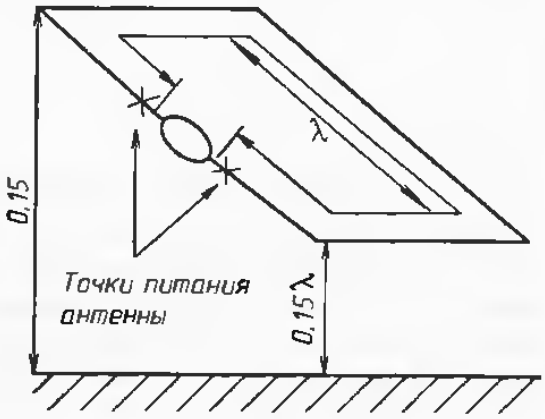


Рис. 13.8. Зенитная рамочная антенна

14. ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ МОБИЛЬНЫХ ЗЕНИТНЫХ КВ АНТЕНН

Обратимся к реальным конструкциям антенн зенитного излучения коротковолнового диапазонв, установленных на передаижных средствах. Обращаю внимание на то, что многие из описанных здесь антенн названы «зенитными» потому, что большую часть поводимой к ним высокочастотной мощности они излучают под большими углами к горизонту, или «в зенит». Конструкции многих из этих антенн были разработаны еще во Вторую мировую войну и широко использовались в то время в военной перадвижной связи. Радиолюбители в настоящее время тоже широко используют зенитные антенны для передвижной автомобильной связи.

Мы рассмотрим танковые антенны зенитного излучения, горизонтвльные симметричные антенны зенитного излучения, установленные на машинах связи. Но

все это множество конструкций можно свести к нескольким типам антенн. Эти антенны были разработаны еще до или во время Второй мировой войны и долгое время использовались в военной связи. Многие из них до сих пор используются на военных или служебных автомобилях связи.

В послевоенное время тоже велись исследоввния новых конструкций зенитных антенн, предназначенных для установки нв передаижных средствах. Мы рассмотрим два новых типа зенитных антенн, появившихся в армии после Второй мировой войны и используемых на машинах связи: это магнитная антенна и антенна DDRR.

Итак, в этой главе охвачены практически все типы зенитных антенн, от разработанных перед Второй мировой войной до разработанных в конце XX века.

14.1. Танковые антенны зенитного излучения

История развития танковых антенн и средств радиосвязи с танками очень интересная. Но нвм придется ограничиться только описанием некоторых конструкций антенн, используемых в танковой связи.

Обращаю внимание читателей на то, что в первое время установлению дальней связи с танковыми колоннвми не удаляли должного внимания. В начале Второй мировой войны многие танки СССР вообще не имели радиостанций. Немецкие танки были оборудованы мвломощными радиостанциями, позволяющими поддерживать связь в бою между собой. Связь на дальние расстояния из танков невозможно было осуществить. Неудачным было и первоначальное расположение антенны на броне танков, сделанных как в СССР, так и в Германии.

В начале второй мировой войны на самом распространенном немецком танке T-IV антенна располагалась на небольшой площадке, прикрепленной к башне. В боях эта площадка вместе с антенной часто разрушвлвсь. Также в начале войны было неудачным расположение антенны на широко распространенном советском танке Т-34. Антенна рвсполагвлась спереди башни танка. Во время боев эта антенна очень скоро выходила из строя.

Нв тяжелых танках Германии и России антенна располагалась сверху или сзади башни. Радиостанции, используемые на тяжелых танках, также были маломощными и не обеспечивали большой дальности связи. Но постепенно во время Второй мировой войны стали использовать все более мощные танковые радиостанции, командирские танки были оснащены двумя и более рвдиостанциями. Некоторые немецкие танки стали использовать для проведения дальней радиосвязи антенны зенитного излучения с эллиптической поляризацией.

Уже к 1943 году радиооборудование, установленное на большинстве танков, позволяло держать уверенную радиосвязь на расстояние свыше 100 км, что давало возможность танковым группам действоввть автономно. Разрабатывались мощные танковые радиостанции, совершенствовались конструкции танковых антенн. На рис. 14.1 показано местоположение антенн на различных типах современных и старых танков.

Постепенно определилось наиболее удобное месторасположение антенны на корпусе танка. Это место было сбоку на башне или позади нее на корпусе танка. К концу Второй мировой войны относится и начвло использования УКВ радиосвязи в танковых войсках. Танки оборудовались двумя антеннами: одна короткая, механически прочная УКВ антенна, обеспечивающая связь между танками в бою и на марше, и другая антенна, обеспечивающая связь зенитным излучением с удаленным командным пунктом. Зенитная антенна могла сниматься с брони танка во время боя, поскольку из-за своих больших размеров она могла быть легко повреждена

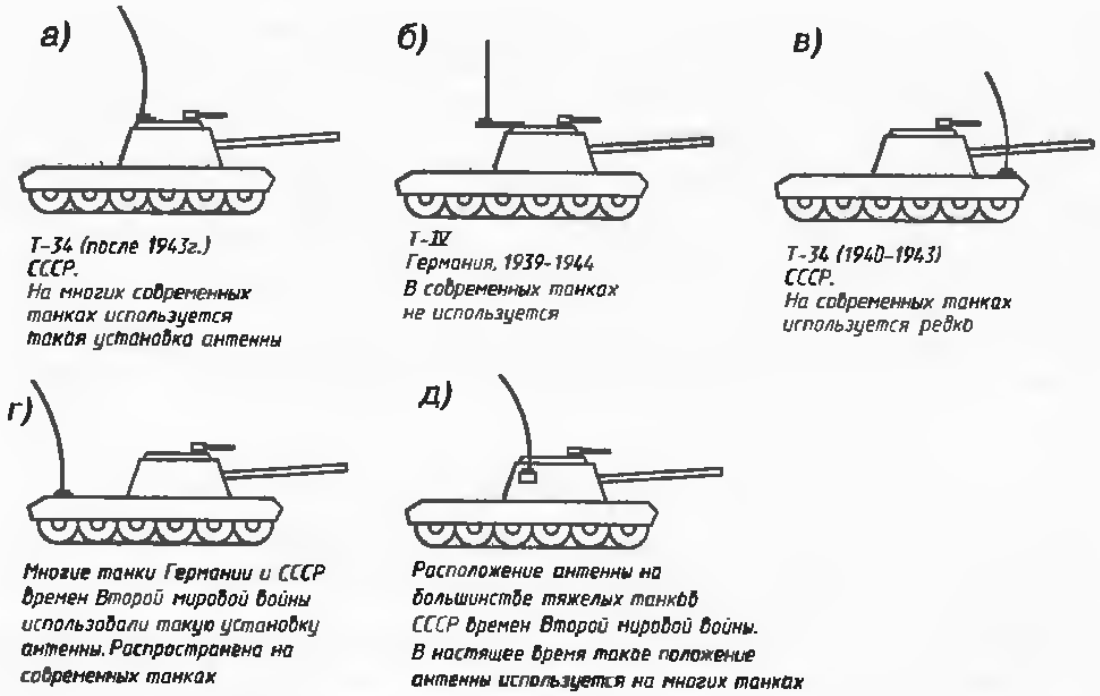


Рис. 14.1. Местоположение антенн на различных типах танков

14.2. Простая вертикальная танковая антенна зенитного излучения

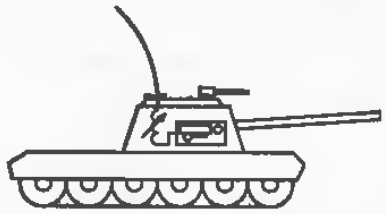


Рис. 14.2. Согласование танковой антенны

Танки использовали для радиосвязи штыревую антенну, согнутую полудугой длиной примерно 1,5—3 м. Такая антенна обладает зенитной диаграммой направленности. Согласование этой антенны с выходным каскадом передатчика осуществляли с помощью удлиняющей катушки, как показано на рис. 14.2. Металлический корпус танка представлял собой прекрасную радиотехническую землю, и дальняя связь с использованием таких антенн была удовлетворительной. Штыревая антенна на современных танках обычно устанавливается сбоку башни танка. В некоторых современных танках штыревая антенна устанавливается сзади на корпусе танка.

Такие антенны хорошо работают на прием и только удовлетворительно — на передачу. Это происходит вследствие того, что они излучают радиоволну с линейной поляризацией. Как мы уже знаем, из-за расщепления радиоволны в ионосфере на «обыкновенную» и «необыкновенную» при работе таких антенн на передачу в месте приема сигналов, излучаемых этой антенной, наблюдаются сильные замирания сигналов. Выбором рабочих частот добивались некоторого уменьшения замираний сигнала, но осуществить надежную радиосвязь все равно было затруднительно.

В годы Второй мировой войны и позже не все танки имели радиооборудование, позволяющее вести связь с командным пунктом с помощью зенитного излучения. Обычно такое оборудование устанавливалось на командирском танке. На таком танке устанавливалась более мощная радиостанция, позволяющая вести уверенную связь с удаленным командным пунктом. Радиостанции повышенной мощности имели большие габариты, вследствие этого уменьшался полезный объем внутри танка.

14.3. Танковые зенитные антенны для работы с эллиптической поляризацией

К середине Второй мировой войны на некоторых немецких тяжелых танках были установлены экспериментальные зенитные антенны, обеспечивающие работу с эллиптической поляризацией. При работе зенитных антенн с этим видом поляризации замирание сигналов было существенно ниже, чем при работе с линейной поляризацией. Антенна с эллиптической поляризацией, установленная на танке, показана на рис. 14.3.

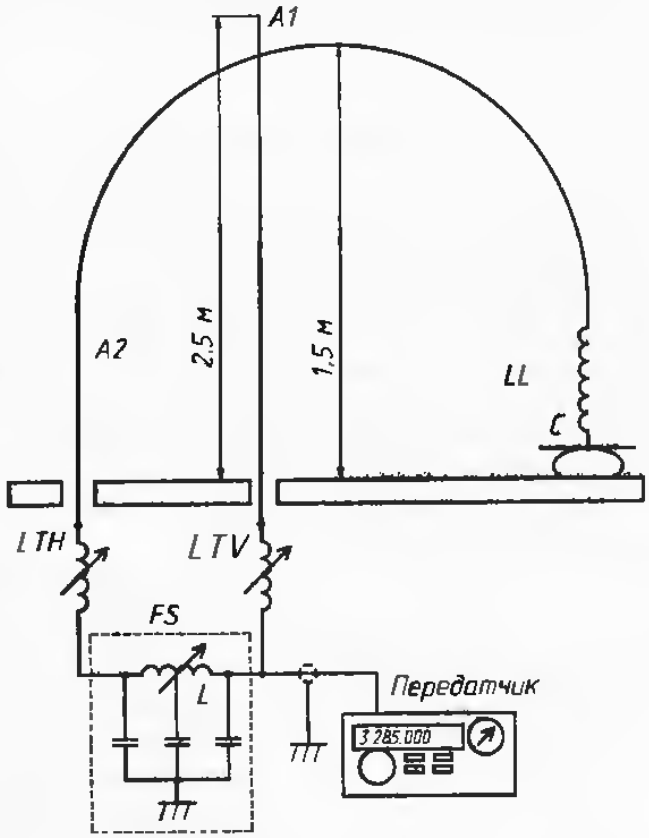


Рис. 14.3. Танковая зенитная антенна, работающая с эллиптической поляризацией

Рвзберем работу танковой антенны зенитного излучения с эллиптической поляризацией. Антенна состоит собственно из двух излучвющих антенн *A1* и *A2*. Антенна *A1* представляет собой вертикальный штырь высотой около 2,5 м. На рабочую частоту штырь настраивается с помощью удлиняющай катушки *LTV*. Антенна *A2* представляет собой согнутый полукольцом несимметричный вибратор. Нв рабочую частоту этв антенна настраивается с помощью концевой нагрузочной катушки *LL*, емкостной нагрузки *C*, которая представляет собой конструктивный элемент танка, и удлиняющей катушки *LTH*. Удлиняющие катушки *LTV* и *LTH* допускают оперативную подстройку при смене чвстоты работы передатчика, необходимую для настройки антенны в резонанс. Между антенной *A1* и *A2* включено фазосдвигающее устройство *FS*, представляющее собой искусственную длинную линию. Фазосдвигающее устройство обеспечивает необходимый фазовый сдвиг между антеннами в питающем их высокочвстотном напряжении. Фазосдвигающее устройство также допускает оперативную подстройку, необходимую или при смене частоты работы антенны, или для перехода работы на поляризацию с левым или с правым вращением, используемой при дневной или ночной радиосвязи.

Штыревая антеннв располагвлась традиционно на башне танкв. Полукольцевая антеннв располагалась нв задней части танкв. Как видно из этого, танковая антенна зенитного излучения представляет собой сложное радиотехническое устройство. Как всякое любое военное устройство, практически настройка этой антенны предельно упрощена. Выведены только три ручки настройки. Это настройка индуктивности *LTV*, *LTH* и настройка фазосдвигающего устройства *FS*. На ручках указано их примерное положение при разных вариантах нвстройки антенны. При выходе из строя одной из частей антенны — *A1* или *A2* антенная система остается все равно работоспособной за счет работы линейной поляризацией. Конечно, в этом случве качество связи ухудшается. Для работы на радиостанции с использованием зенитной антенны с эллиптической поляризацией требовался квалифицированный персонал.

Постепенно после Второй мировой войны зенитные антенны, обеспечивавшие работу с эллиптической поляризацией, прекратили использовать на танках. А в настоящев время другие современные виды связи постепенно вытесняют коротковолновую радиосвязь с зенитным отражением от ионосферы из использования в танковых войсках.

14.4. Горизонтальные зенитные антенны на машинах связи

На многих военных машинах связи используются горизонтальные антенны зенитного излучения. Это сделано по сладующим причинам. Вертикальные и горизонтальные антенны часто не обладают достаточной прочностью. Поскольку машины связи имеют достаточно большую высоту, 3 и более метра над землей, то высокая вертикальная антенна существенно увеличит габаритные размеры машины связи. Это приведет к ее демаскировке. При передвижении автомобиля с высокой антенной под низкими мостами, в лесу возможна поломка высокой выступающей антенны.

Ниже мы разберем конструкцию и принцип работы горизонтальных антенн зенитного излучения.

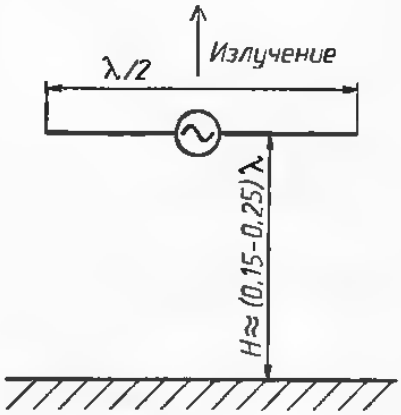


Рис. 14.4. Идеальная полуволновая горизонтальная антенна зенитного излучения

Горизонтальные антенны зенитного излучения, установленные на военных автомобилях, обычно симметричные. Это происходит по следующим причинам. Во-первых, симметричные горизонтальные антенны, установленные на автомобиле, имеют более выраженное зенитное излучение по сравнению с горизонтальными несимметричными антеннами. Во-вторых, для симметричных антенн легче осуществить их питание с высоким КПД. В-третьих, при использовании симметричных антенн легче бороться с высокочастотными наводками на радиоэлектронную аппаратуру, которые производят горизонтальные передающие антенны.

При работе симметричных горизонтальных антенн на передачу часть наводок, индуцируемых ими в проводящих частях автомобиля, взаимно уничтожаются. При работе несимметричных антенн, вертикальных и горизонтальных, наводки на расположенную внутри автомобиля аппаратуру будут существенно выше.

Рассмотрим работу идеальной симметричной горизонтальной антенны зенитного излучения. Идеальная полуволновая горизонтальная антенна зенитного излучения показана на рис. 14.4. Такая антенна представляет собой полуволновой диполь, расположенный на высоте (0,15...0,25)λ от поверхности земли. Вследствие отражения радиоволн от земли антенна имеет зенитную диаграмму направленности. Конечно, такая идеальная антенна не может быть использована в передвижных средствах связи. Во-первых, конечно, невозможно установить на автомобиле антенну, имеющую в диапазоне 90—60 метров длину λ/2, поскольку длина этой антенны будет равна 45...30 метров. Во-вторых, оптимальная высота установки антенны над землей, которая составляет (0,15...0,25)λ, будет равна 22...13 м для длин волн 90 метров и 9...15 м для длин волн 60 метров. Конечно, эти высоты не могут быть обеспечены при установке антенны на передвижные средства.

Реальная машина связи, используемая в армии, имеет высоту 3...4 м. Антенна устанавливается на высоте 1...1,5 м над крышей этой автомашины. В результате этого антенна зенитного излучения располагается на высоте 4...5 м над землей, как показано на рис. 14.5. Между антенной и поверхностью земли находится машина связи, которая поглощает часть энергии, излучаемой антенной зенитного излучения. Это еще более ухудшает работу зенитной антенны и увеличивает уровень ее излучения под горизонт.

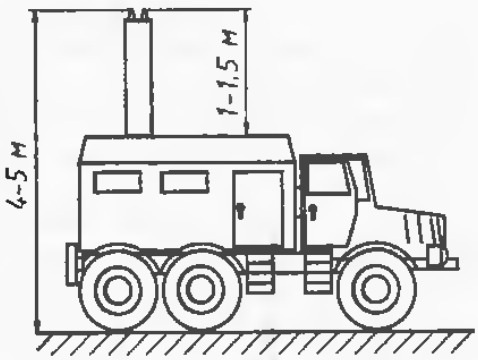


Рис. 14.5. Зенитная дипольная антенна на крыше автомобиля

Но следует заметить, что повышенное излучение антенн, установленных на передвижных средствах, под горизонт считается их полезным качеством, так как это дает возможность осуществлять связь земной волной на небольшие расстояния — до 40...80 км в радиусе от автомобиля.

14.5. Рамочная дипольная зенитная антенна

В армии широко используется дипольная зенитная антенна рамочной конструкции, показанная на рис. 14.6. Эта антенна представляет собой прочную трубку диаметром 15...30 мм, установленную над крышей автомобиля так, что антенна возвышается на уровне 1...1,5 м над крышей и выходит примерно на 1 м за габариты автомобиля, как показано на рис. 14.6,а. Такое построение антенны позволяет работать ей с сильным зенитным излучением. Также эта антенна имеет и значительные боковые лепестки, прижатые к горизонту, которые можно использовать для проведения связи наземной волной.

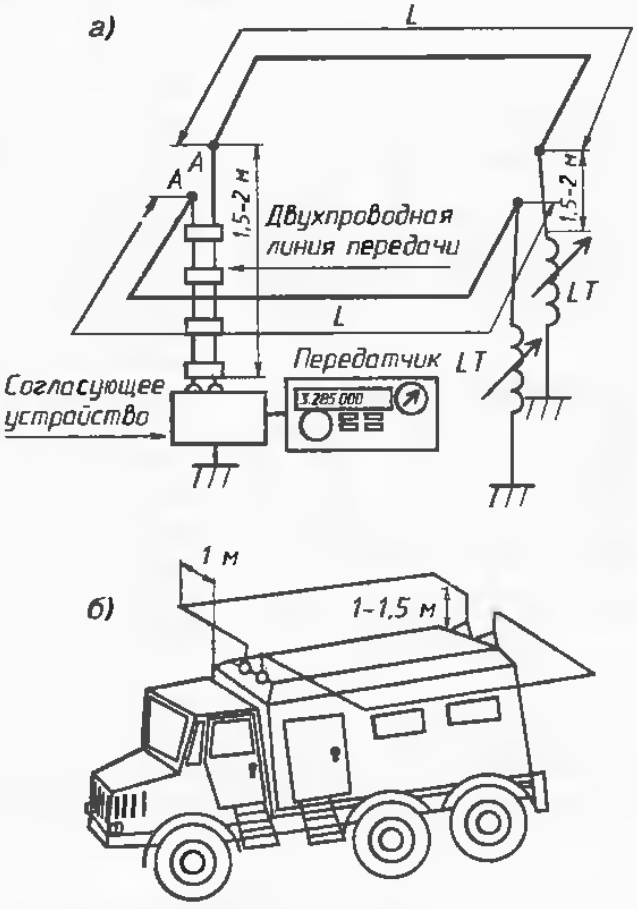


Рис. 14.6. Дипольная зенитная антенна рамочной конструкции

Длина *L* антенны (рис. 14.6,б) определяется только размерами автомобиля, на котором она установлена. Питается эта антенна по короткой двухпроводной линии длиной около 4 метров, которая подключена к согласующему устройству передатчика. Настраивается в резонанс антенна с помощью симметричного вариометра *LT*. При его перестройке индуктивность катушек антенны *LT* меняется одинаково. Антенна хорошо согласуется с выходным каскадом передатчика и работает в диапазоне 2...25 МГц. Антенну настраивают по максимуму тока, поступающему в точки питания антенны (*А* на рис. 14.6,а). В таком случае антенна обеспечивает максимально эффективную работу. Но в инст-

рукции по работе антенны указано, что она может быть настроена и по максимуму высокочастотного напряжения на ее входе (т. е. по минимуму тока в точках *А*). Такая настройка антенны возможна, если автомобиль связи находится на хорошо проводящей поверхности (это могут быть влажные соленые почвы) или при работе из естественных укрытий — ям, оврагов. Индуктивность вариометра составляет от нескольких микрогенри до 500 мкГн.

Такая антенна вполне может быть использована в радиолюбительских условиях. Основная проблема при ее изготовлении заключается в изготовлении качественного вариометра *LT*. Желательно, чтобы длина *L* каждого плеча антенны была не менее 6 метров. Такая антенна может быть установлена в укороченном варианте на крыше небольших автомобилей для работы в диапазонах 40—10 метров.

При использовании этой антенны в военных автомобилях связи она дает то преимущество, что крыша автомобиля остается свободной. Это позволяет установить на крыше автомобиля антенны других типов. Особенно это актуально в современных условиях, когда обеспечение связи с использованием зенитных антенн не играет такой большой роли, как раньше.

14.6. Свернутый зенитный диполь

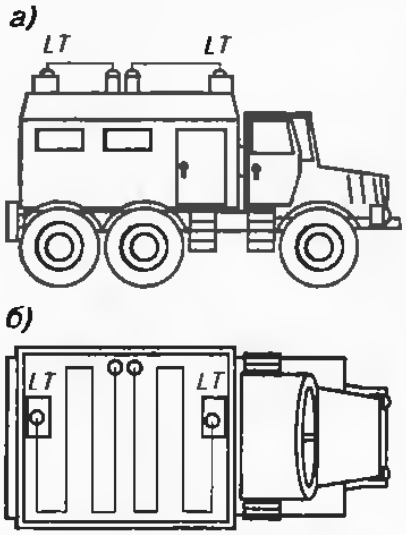


Рис. 14.7. Свернутый диполь на машине связи

В годы Второй мировой войны и до 80-х годов на машинах связи использовался свернутый диполь зенитного излучения. Он представлял собой свернутый меандром диполь, установленный на крыше машины связи. В зависимости от величины автомобиля длина плеч свернутого диполя могла достигать 10—15 м. На концах диполя находились нагрузочные катушки с емкостной нагрузкой. Питался диполь с помощью двухпроводной линии длиной около 3 м. Расположение диполя на машине связи показано на рис. 14.7. Схема антенны показана на рис. 14.8. Нагрузочные катушки *LT* совместно с конструктивной емкостью обеспечивают резонанс работы антенны в верхнем диапазоне работы антенны — 60 метров. С помощью согласующего устройства эту антенну можно настроить для работы на ее нижнем диапазоне работы 90 метров. Антенна находится на высоте примерно 1...1,5 м над крышей автомобиля. Антенна имеет сильно выраженное зенитное излучение. Настраивается антенна по максимальному току, поступающему в нее, предназначена для использования в диапазоне волн 60—90 метров. Обычно эту антенну не применяют для работы в других диапазонах волн.

14.7. Широкополосный зенитный диполь

На некоторых военных автомобилях связи иногда использовали широкополосную горизонтальную антенну, показанную на рис. 14.9. Эта антенна представляет собой широкополосный симметричный вибратор размерами 0,5...1,5 м в ширину и 1,5...2 м в длину. Вибратор выполнен в виде сетки, как показано на рис. 14.9. Расположена антенна обычно на высоте около 1 м от крыши автомобиля.

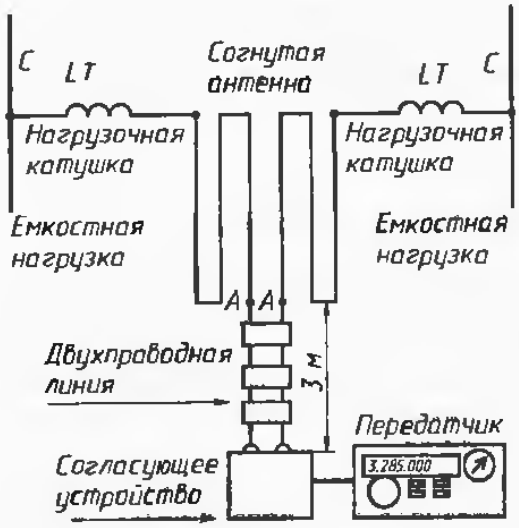


Рис 14.8. Схема свернутого диполя

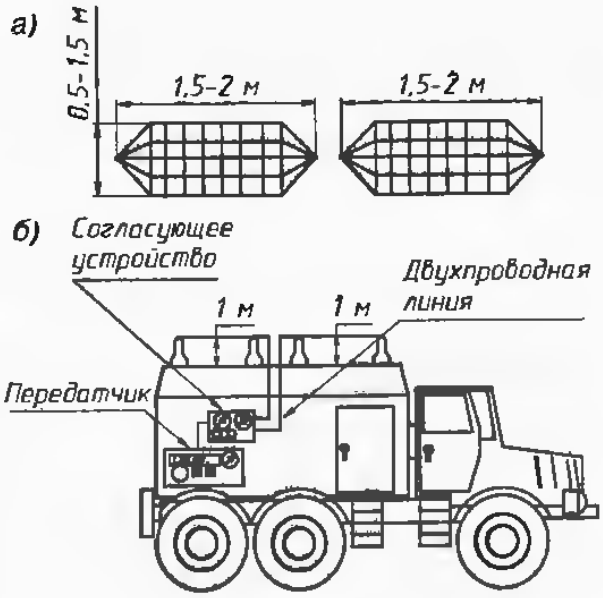


Рис. 14.9. Широкополосная горизонтальная зенитная антенна

На рис. 14.10 показана схема питания одной из антенн, используемой в военном автомобиле связи времен Второй мировой войны. Антенна подключена через двухпроводную линию длиной около 2 м к согласующему устройству. Это согласующее устройство представляет собой параллельный контур, который с помощью катушки связи *LC* связан с передатчиком. При помощи катушки *LF* и конденсатора *CR* этот контур может быть перестроен в области частот 2...20 МГц. В этой же области частот и работает зенитная антенна. С помощью переменного симметричного конденсатора *CA* антенна настраивается по максимуму тока, поступающего в нее.

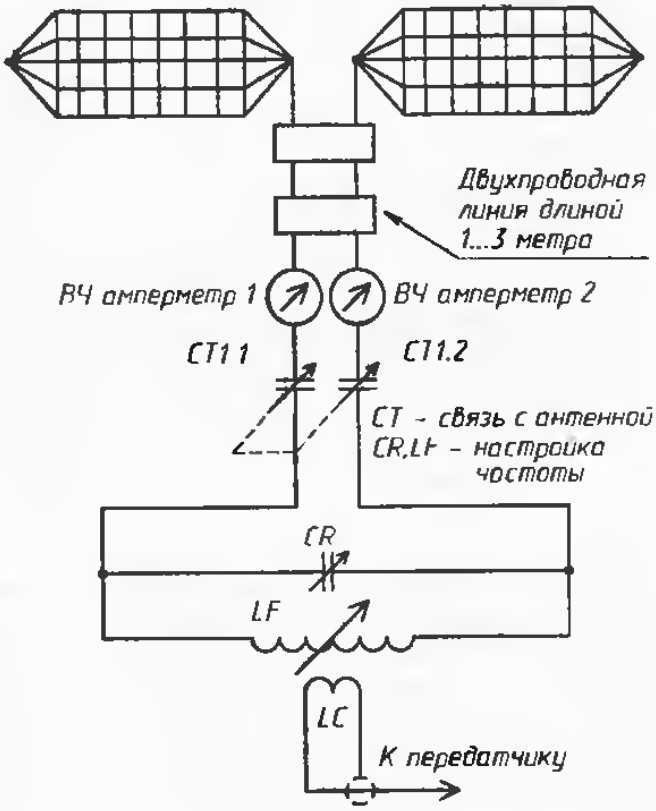


Рис. 14.10. Схема питания широкополосной симметричной антенны

Антенна обеспечивает уверенную связь при работе с зенитным излучением. За счет наличия боковых лепестков обеспечивается дальняя связь в высокочастотных диапазонах волн 5...20 МГц. Могла антенна обеспечивать дальнюю связь и при работе в низкочастотном участке коротких волн 2...5 МГц за счет неоднократного отражения радиоволн от ионосферы и за счет работы с использованием боковых лепестков.

Недостатки этой антенны заключаются, во-первых, в относительно сложном согласующем устройстве, а во-вторых, она занимает значительную часть площади крыши автомобиля под свою установку. По этим причинам начиная с конца 50-х годов эта антенна на военных автомобилях связи практически не используется. Ее сменила более удобная в настройке и эффективная в действии антенна, показанная нв рис. 14.6.

14.8. Магнитные автомобильные антенны

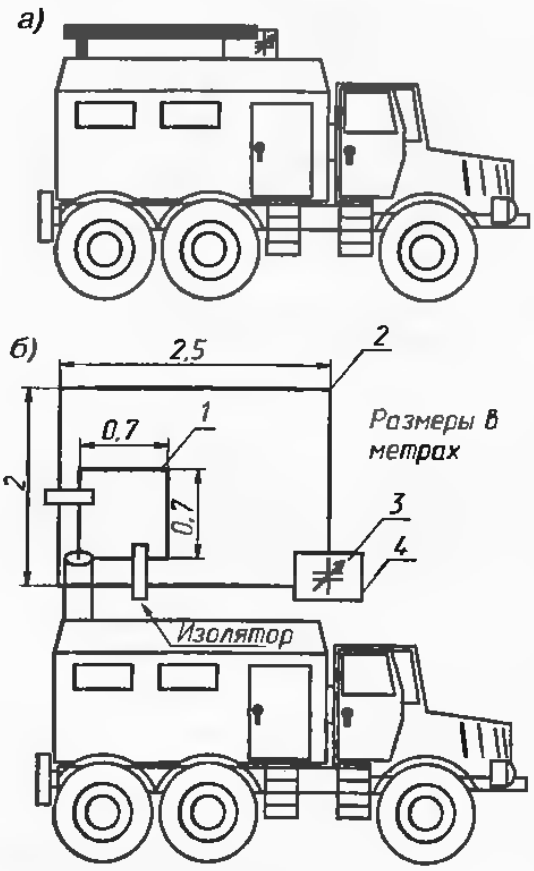


Рис. 14.11. Автомобильная магнитная антенна

Магнитные антенны стали использоваться для зенитной связи (по моим сведениям) сравнительно недавно, с середины 70-х годов XX века. Магнитнвя антенна, установленная на машине связи, показана на рис. 14.11.

Магнитная антенна в походном состоянии установлена параллельно крыше (рис. 14.11,а) и не мешает передвижению машины под низкими мостами, в лесу. Для приведения магнитной антенны в рабочий режим она с помощью электромоторов поднимается. На рис. 14.11,б показана магнитная антенна в рабочем положении. Магнитная антенна *1* настраивается в резонанс на рабочую частоту с помощью переменного конденсатора *2*, который защищен от атмосферных воздействий герметичной коробкой *4*. Перестраиваем по диапазону конденсатор с помощью электромотора. Питается антенна с помощью петли связи *3*, которая установлена в углу антенны. Размеры антенны, предназначенной для работы в диапазонах 150—80 метров, показаны на рис. 14.11,б. Антеннв обеспечивает уверенную связь при помощи зенитного излучения в зоне радиусом 200 км днем и до 400 км ночью. К передатчику антенна подключена при помощи сверхгибкого коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 100 Ом.

Используются магнитные антенны и для работы в диапазонах 90—60 метров. В этом случае такие магнитные антенны, конечно, имеют гораздо меньшие размеры по сравнению с магнитной антенной, предназначенной для работы на диапазоне 150—90 метров. Магнитные антенны для диапазонов 90—60 метров устанавливаются или над кабиной автомобиля (см. рис. 14.12), или на краю задней части машины (см. рис. 14.13). В этом случае на крыше машины остается много свободного места под установку антенн других типов или для установки другой редиоэлектронной аппаратуры.

Магнитные антенны, показанные на рис. 14.11, 14.12, 14.13, обычно изготавливают или из алюминиевой согнутой трубки, или из алюминиевой полосы. Антенна диапазона 150—90 метров не предназначена для работы из автомобиля во время движения. Но антенны диапазонов 90—60 метров можно использовать во время движения автомобиля.

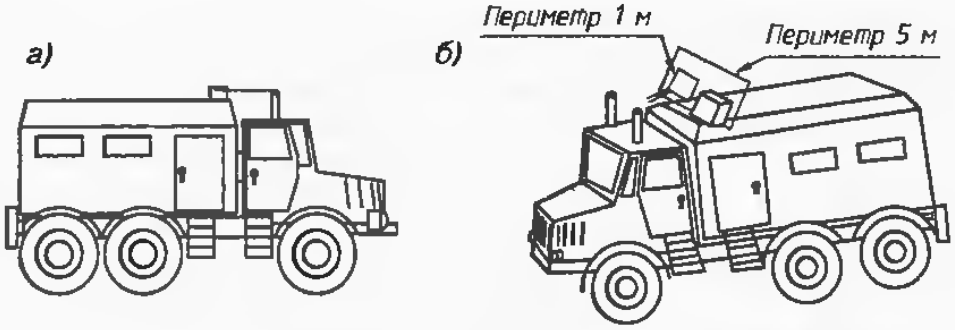


Рис. 14.12. Магнитная антенна над кабиной автомобиля

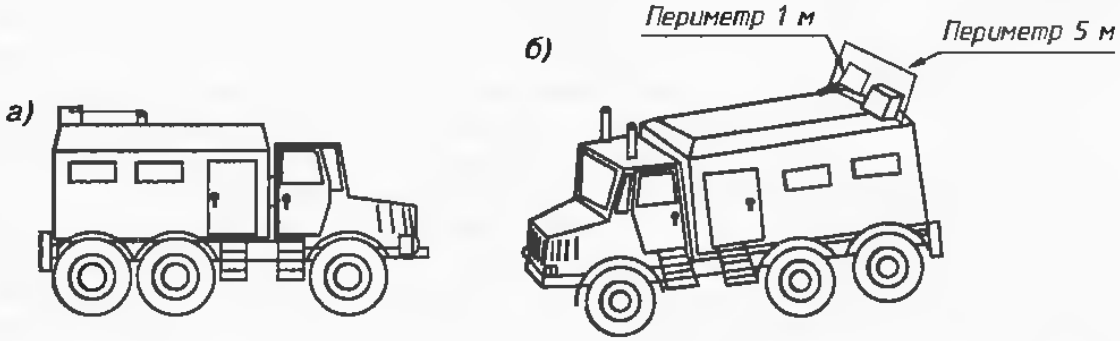


Рис. 14.13. Вариант установки магнитной антенны над задней частью автомобиля

Мне не встречались достоверные сведения о военных магнитных антеннах, предназначвнных для работы зенитным излучением на диапазонах частот выше 5 МГц.

14.9. Антенны DDRR в военной связи

В военной технике многих стран используются зенитные антенны DDRR, которые тоже могут обеспечить работу зенитным излучением. Схема этой антенны показана на рис. 14.14. Антенна представляет собой излучатель длиной L значительно меньше длины четверти волны нижнего рабочего диапазона антенны. В резонанс антенна настраивается с помощью конденсатора переменной емкости, перестраиваемого электромотором. Антенна эффективно работает при длине L нв мвнее $0{,}1\lambda$. Конструктивно антенна выполнена из толстой трубки диаметром 20...40 мм.

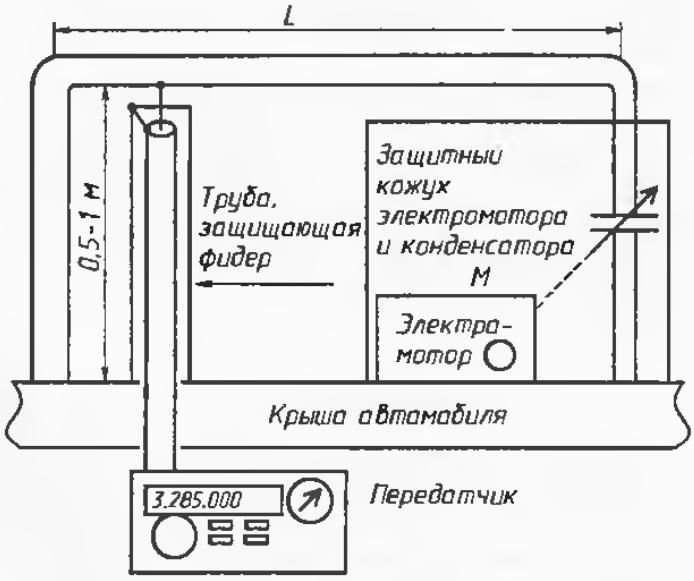


Рис. 14.14. Схема автомобильной антенны DDRR

Антенна DDRR на военной технике обычно располагается по краю машины связи, как показано на рис. 14.15. Это дает возможность установить на крыше машины связи антенны для других диапазонов. Антенна DDRR часто еще служит ограждени-

ем крыши машины связи. Антенна DDRR используется на танках, на БМП (боевая машина пехоты). На этой военной технике антенна DDRR может выполнять роль поручней. Поскольку антенна DDRR механически прочная, ее трудно повредить в бою. Она более жизнестойкая, чем высокая штыревая антенна.

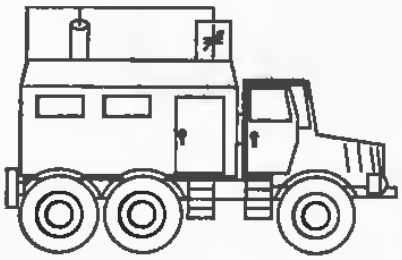


Рис. 14.15. Расположение антенны DDRR на машине связи

Для создания вращающейся поляризации, необходимой для качественной работы зенитной антенны, используют две антенны DDRR, расположенные по периметру крыши, как показано на рис. 14.16. В этом случае при их питании с некоторым сдвигом фаз возможно получение круговой (вернее эллиптической) поляризации.

Антенна DDRR является одной из новейших антенн, используемых на военной технике, в том числе и для связи зенитным излучением. Эта антенна обеспечивает высокий уровень зенитного излучения и имеет коэффициент полезного действия более высокий по сравнению со штыревой антенной. Но антенна DDRR проигрывает по эффективности работы магнитной антенне и сравнима по эффективности работы со свернутым диполем. Однако магнитная антенна сложнее в выполнении антенны DDRR и требует для ее приведения в рабочий режим использования электромоторов или ее подъемв вручную. Антенна DDRR более прочная и позволяет вести связь во время движения, не опасаясь повреждения антенны.

Свернутый диполь, который ранее использовался в качестве зенитной антенны, занимает всю крышу и не дает места для установки на ней других антенн. В настоящее время для ведения связи используются не только антенны зенитного излучения диапазона 90—60 метров, но и антенны других типов и частот. Поэтому вопрос о месте для размещения этих антенн на крыше автомобиля связи стоит достаточно остро.

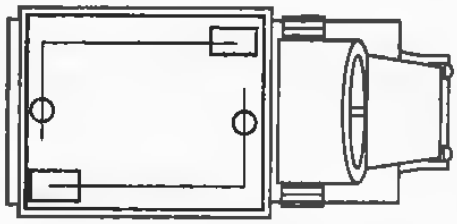


Рис. 14.16. Система «зенитных» антенн DDRR, обеспечивающих круговую поляризацию

Радиолюбители вполне могут использовать антенну DDRR для своей работы в эфире при ее установке на крыше автомобиля.

Итвк, если вы где-то встретите описание какой-либо внтенны, работающей зенитным излучением, то, скорае всего, сможете отнести ее к одному из типов описанных здесь антенн. А мы рассмотрим сейчас радиолюбительские антенны для установки на автомобилях.

15. АНТЕННЫ ВОЗИМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Работа с трансивера, установленного в автомобиле, становится обычным для радиолюбителей делом. Дорога нв работу и обратно занимает знвчительное время, которое вполне можно использовать для работы в эфире. Время поездки в отпуск на автомобиле тоже можно прекрасно совместить с работой в эфире.

Сейчас многие современные трансиверы имеют питание от напряжения 12 В и габариты, позволяющие установить их в автомобиле. Большинство трансиверов имеют настраиваемый с помощью автоматики встроенный тюнер, что позволяет использовать трансиверы со случайными антеннами. Ниже будут рассмотрены основные типы антенн перадвижных радиостанций и особенности их установки на ввтомобиле.

15.1. Особенности работы на трансивере из автомобиля

Работа на трансивере из автомобиля имеет много своих особенностей по сравнению с работой со стационарного места. Трансивер должен быть соответственно установлен в автомобиле. Необходимо прадусмотреть его защиту от вибрации. Трансивер может проработать много лет безотказно, будучи расположен стационарно в доме, но выйдет из строя через пару часов после работы в автомобиле из-за вибрации. Именно из-за вибрации необходимо использовать трансиверы с цифровыми синтвзаторами частоты, крайне желателен режим фиксации частоты. Температура в автомобиле в месте установки трансивера может меняться в широких пределах, поэтому трансивер должен выдерживвть работу при перепаде температуре от –10°С (при первоначальном включении трансивера зимой в холодном автомобиле) до +50°С (в длительно работвющем автомобиле). Конечно, в некоторых типах автомобиля температурные условия могут быть гораздо мягче указанных здесь.

Трансивер должен быть установлен так, чтобы он не мешал управлению автомобиля и в то же время управление трансивером (переключение прием/передача), микрофон, телеграфный ключ были легко доступными для работы. Очень удобны в этом случае трансиверы с пультом управления и трансиверы, допускающие раздельную установку основного блока и панели управления трансивера.

Если в автомобиле сильный шумовой фон, то желательно использовать при работе на трансивере наушники. Вместо микрофона в этом случае целесообразно использовать ларингофоны. Именно по причине шума использовать режим «VOX» при работе на SSB при деижении автомобиля часто невозможно. При работе на CW режим «VOX» вполне может быть использован.

При движении автомобиля уровень принимаемого сигнала может значительно меняться, что подразумевает использование эффективной системы АРУ. Во время деижения по туннелям, под металлическими мостами прием может вообще полностью прекратиться, а при движении в автомобиле по городу под троллейбусными линиями, около трамвайных линий и линий электропередачи могут возникнуть сильные помехи приему, обусловленные наводками от источника помех на антенну трансивера.

15.2. Установка трансивера в автомобиле

Желательно установить трансивер так, чтобы он легко вынимался из автомобиля, так как в некоторых местах оставлять дорогостоящий аппарат на ночь в автомобиле просто неразумно. Трансивер должен быть установлен в таком месте, чтобы на него не капало масло, не попадало автомобильное топливо, не летела пыль. При недостаточной защите электронной схемы трансивера от этих воздействий аппарат может быстро выйти из строя. Даже если пыль и масло не будут попадать внутрь трансивера, их воздействие на внешние разъемы трансивера, как высокочастотные, так и низкочастотные, будет катастрофическим.

Много хлопот может доставить подключение питания к трансиверу в автомобиле. Неправильно выполненное, оно будет «просаживаться» на трансивере во время передачи, принимать помехи от системы электрооборудования автомобиля при работе трансивера на прием. Как показывает опыт, наиболее рациональный вариант — это непосредственное подключение проводов питания трансивера к клеммам аккумулятора. Необходимо обратить внимание, что подключен должен быть не только «плюсовой» провод, но и «минусовой». Провода могут быть из меди диаметром 2...4 мм и они должны идти по корпусу автомобиля наиболее коротким путем от трансивера до аккумулятора.

В то же время провода питания должны «обходить» источники помех, которые могут встретиться на их пути. Недопустимо, чтобы провода свободно провисали в пустом пространстве автомобиля. Это неизбежно приведет к помехам со стороны электрооборудования. Проходящие свободно провода могут быть случайно повреждены при ремонте автомобиля. Желательно использовать провода питания, идущие в металлическом экране. Экран должен быть выполнен из ферромагнитного провода, этот провод должен быть облужен или другим способом предохранен от окисления, экран должен быть плотного сечения. В тяжелых случаях появления помех можно использовать провода в двойном экране: первый экран из ферромагнитного материала, второй экран медный.

Электрохозяйство автомобиля, в котором будет установлен трансивер, должно быть в идеальном состоянии, иначе помех приему не миновать. К сожалению, многие отечественные автомобили не удовлетворяют этим требованиям и приходится долго возиться, чтобы найти причину помех. В карбюраторном двигателе мощные помехи создает система зажигания. Генератор также может создавать помехи приему. Поскольку в основном все цепи питания автомобильного электрооборудования сильноточные (стартер, освещение, указатели поворотов, электродвигатель стеклоочистителя и т. д.), то их включение сопровождается мощными искровыми разрядами, создающими помехи в диапазоне от сотен килогерц до сотен мегагерц. Кроме того, при движении автомобиля некоторые части его кузова могут наэлектризовываться, что также создает помехи приему при стекании накопленного заряда на землю или при пробое статического электричества через проводящий участок.

15.3. Штыревые антенны возимых станций

Антенны передвижных станций должны иметь круговую диаграмму направленности, поскольку при движении автомобиля его местоположение относительно сторон света может меняться.

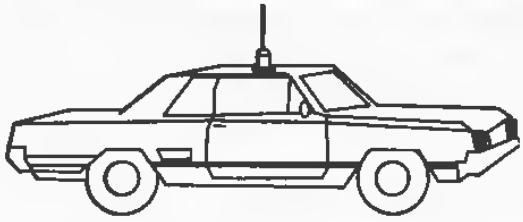


Рис. 15.1. Штыревая автомобильная антенна

Наиболее оптимальным вариантом автомобильной антенны является штыревая автомобильная антенна, установленная в центре крыши автомобиля (рис. 15.1). Диаграмма направленности такой антенны будет практически круговая. Худшие результаты будут при установке антенны на крыле или на заднем бампере автомобиля. Вследствие несимметричности установки в диаграмме направленности такой антенной системы будут минимумы и максимумы, что может привести к потери связи при изменении направления движения автомобиля.

Излучающим элементом этой автомобильной антенны является штырь. Чем выше его длина, тем эффективней будет работать антенная система, особенно на низкочастотных КВ диапазонах. Возможности по увеличению высоты этого штыря ограничены. Ограничения обусловлены как прочностными характеристиками штыря, который при движении автомобиля с ускорением испытывает значительные нагрузки, так и габаритными размерами транспортного средства, обусловленного его движением в городе под проводами троллейбусов, трамваев, линий электропередач, в туннелях и под мостами.

Реально для построения автомобильных вертикальных антенн используют штырь длиной от 1 до 3 м. Сопротивление излучения такого штыря на низкочастотных диапазонах будет мало и, следовательно, эффективность работы такой антенны будет низка. Малый коэффициент полезного действия антенной системы будет обусловлен трудностями согласования низкого сопротивления излучения штыря и сложностью

обеспечения соответствующей эффективной заземляющей системы для этой антенны. Но начиная от диапазона 20 метров вертикальная антенна высотой 2 м будет работать с высоким коэффициентом полезного действия. На графиках, приведенных на рис. 15.2, показано сопротивление излучения вертикальной части антенны в любительских КВ диапазонах 30—160 метров, а на графиках, приведенных на рис. 15.3, — сопротивление излучения штыря в любительских КВ диапазонах 6—20 метров.

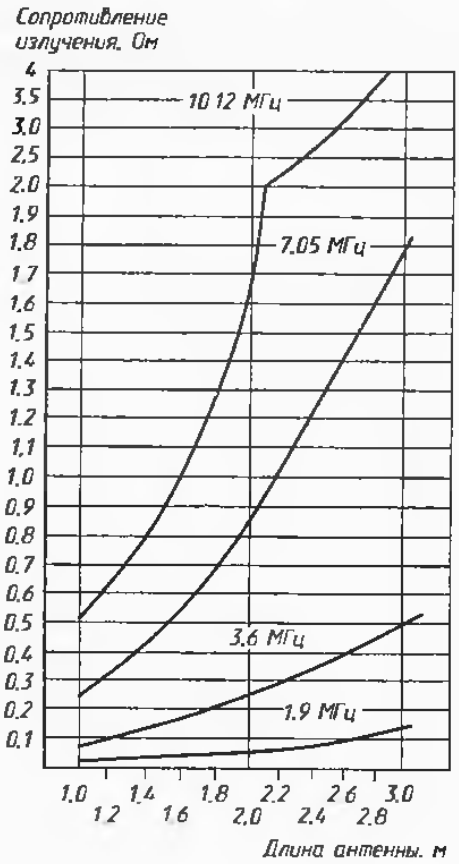


Рис. 15.2. Сопротивление излучения штыря в любительских КВ диапазонах 30—160 метров

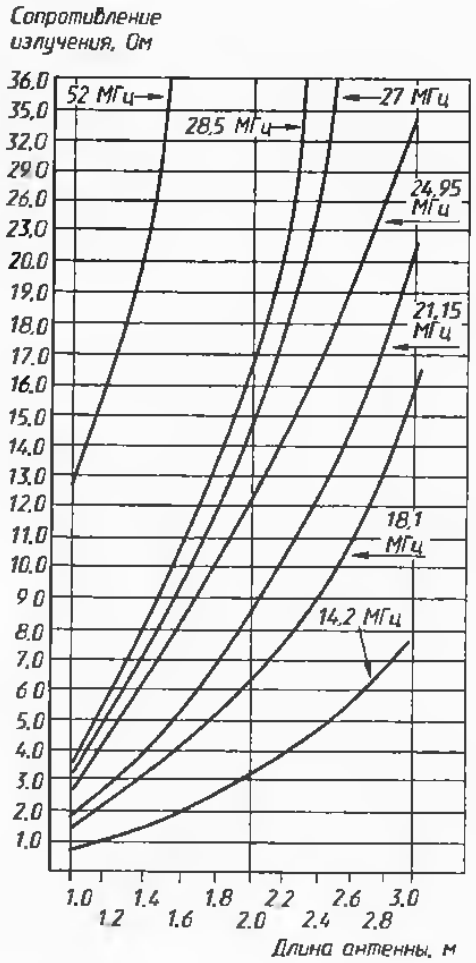


Рис. 15.3. Сопротивление излучения штыря в любительских КВ диапазонах 6—20 метров

15.4. Согласование штыревых автомобильных антенн

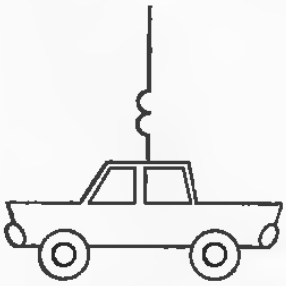


Рис. 15.4. Вертикальная антенна с удлиняющей катушкой

Согласовать с коаксиальным кабелем питания или с выходом трансивера 50 Ом электрически короткую вертикальную автомобильную антенну, можно с помощью удлиняющей катушки. Система «штырь — удлиняющая катушка — емкость антенны на корпус автомобиля — корпус автомобиля как противовес» (рис. 15.4) настраивается в резонанс на рабочий диапазон антенны.

Емкость штыря антенны длиной 1...2 м на корпус автомобиля составляет от 10 до 15 пФ. Увеличить емкость штыря антенны на корпус автомобиля можно с помощью емкостной нагрузки (рис. 15.5) в виде шарика (рис. 15.5,а) или крестовины (рис. 15.5,б), расположенной на конце ан-

тенны. Емкостная нагрузка увеличивает ветровое сопротивление антенны и требует усиления ее механической конструкции.

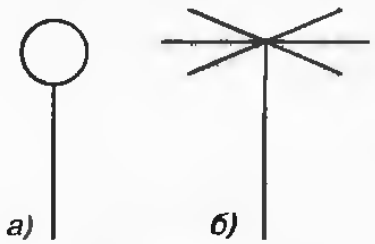


Рис. 15.5. Емкостная нагрузка на конце антенны

В табл. 15.1 приведены значения индуктианости удлиняющих катушек при емкостях антенны на корпус автомобиля 10, 20, 30, 40 пФ. Как видно из этой таблицы, на низкочастотных любительских КВ диапвзонах значения индуктивности удлиняющих катушек будут велики. Исходя из этого, сладует ожидать, что полоса работы антенны также будет узкой. Омическое сопротивление катушек на этих диапазонах будет на порядок выше, чем сопротивление излучения антенны, следовательно, коэффициент полезного действия антенной системы будет мал. На любительских диапазонах 6—20 метров КПД антенной системы будет вполне удовлетворителен.

Таблица 15.1

Значения индуктивности удлиняющих катушек

Частота, МГц	Индуктивность катушки, микрогенри, При емкости антенны на корпус, пикофарад			
	10 pF	20 pF	30 pF	40 pF
1,9	701	350	233	175
3,6	195	98	85	49
7,05	52	26	17	13
10,12	25	12	8,4	6,3
14,2	12,58	6,3	4.19	3.14
18,1	7,73	3,86	2,58	1,9
21,2	5,6	2,8	1,88	1,4
24,9	4,0	2,0	1,36	1,02
27	3,47	1,73	1,16	0,86
29	3,0	1,5	1,0	0,75

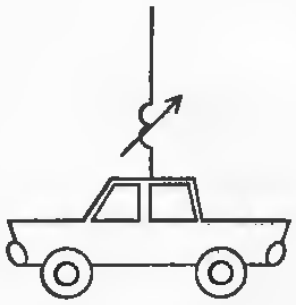


Рис 15.6. Настройка укороченной вертикальной автомобильной антенны с помощью переменной индуктивности

Для настройки укороченной вертикальной автомобильной антенны в резонанс необходимо использовать переменную индуктивность (рис. 15.6). Это связано с тем, что емкость антенны на корпус автомобиля часто не является постоянной величиной, а зависит от многих факторов. Вследствие этого часто необходима оперативная подстройка антенной системы. Это особенно относится к электрически коротким антеннам. Но чем выше отношение «длина штыря антенны/длина рабочей волны», тем меньше проявляются дестабилизирующие факторы на работу антенны. Можно сказать, что при значении отношения «длина штыря антенны/длина рабочей волны» более 0,15 (при этом значение величины отношения наибольшая длина корпуса автомобиля/длина рабочей волны должно быть не меньше этой величины) многими дестабилизирующими антенну факторвми можно пренебречь и считать емкость антенны на корпус автомобиля постоянной величиной.

Конструкция качественной катушки переменной индуктивности сложна, поэтому радиолюбители часто применяют упрощенную схему согласования. Она состоит из высококачественной катушки постоянной индуктивности и включенного с ней последовательно переменного конденсатора (рис. 15.7). В этом случае величина индуктивности удлиняющей катушки для работы со штыревой антенной выбирается чуть большей необходимой, а настройка антенны в рвзонанс осуществляется с помощью конденсатора переменной емкости.

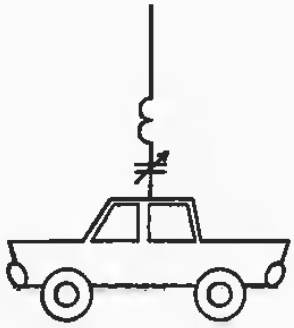


Рис. 15.7. Упрощенная схема настройки укороченной вертикальной автомобильной антенны

Настройка автомобильной антенны с помощью переменного конденсатора хороша тем, что, используя переключавмый фиксировано блок удлиняющих катушек (их переключение с помощью высокочастотных реле можно сделать автоматически при смене диапазонов работы), с помощью конденсатора переменной емкости можно точно подстроить антенну в резонанс. Большую помощь при моделировании автомобильных антенн может оказать программа Mobile Antenna Analysis радиолюбителя AAGGL [1].

15.5. Входное сопротивление автомобильной штыревой антенны

Входное сопротивление этой антенной системы будет состоять из суммы сопротивления излучения штыря и сопротивления потерь, в которое входит омическое сопротивление удлиняющей катушки, сопротивления потерь в конденсаторе пвременной емкости и сопротивление потерь в «землв» антенны, в данном случае, в корпусе автомобиля.

Из-за большой величины значения сопротивления перечисленных выше потерь на диапазонах 40, 80 и 160 метров входное сопротивление автомобильной антенной системы, содержащей короткую штыревую антенну, может находиться в пределах 10...30 Ом. Такое относительно высокое входное сопротивленив вполне может быть согласовано с усилителем мощности трансивера при помощи автоматического тюнера трансивера или самодельного простого тюнера.

На диапазонах 6—20 метров сопротивление потерь а «земле» и в удлиняющих катушках антенны значительно уменьшается, но в то жв время увеличивается сопротивление излучения штыря антенны (рис. 15.2), и входное сопротивление автомобильных антенн в этих диапазонах близко к 50 Ом. Такая антенна прекрасно согласуется с выходным каскадом трансивера. Коэффициент полезного действия работы автомобильных антенн в этих диапазонах достаточно ввлик.

15.6. Установка антенны в автомобиле

Установка антенны в автомобиле показана на рис. 15.8. Штырь антенны *A* коротким проводником *B* соединен с блоком согласования *C* и коротким отрвзком коаксиального кабвля *D* соединен с трансивером. В этой схеме антенной системы высота штыря *A* должна быть максимально возможной, так как именно он обеспечивает излучение антенны. Проводник *B* нвходится внутри автомобиля и в излучении радиоволн во внешнее пространство не при-

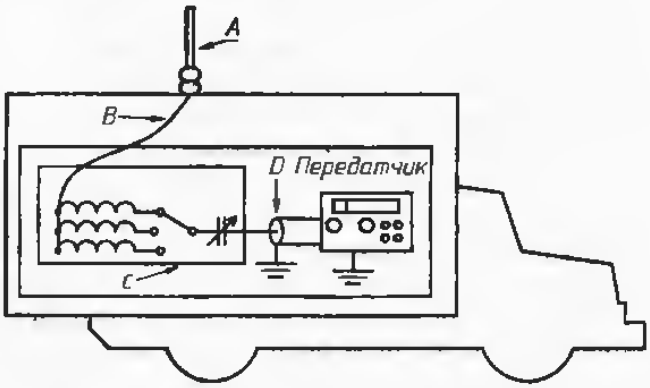


Рис. 15 8. Установка антенны в автомобиле

нимает участия. Его емкость на корпус автомобиля входит в общую емкость штыря антенны на «землю». Следовательно, чем больше величина емкости участка *В* на «землю» по отношению к величине емкости штыря антенны *А* на «земпю», тем меньше КПД антенной системы.

Недопустимо использовать в качестве провода *В* коаксивльный кабель с подключенной к корпусу автомобиля оплеткой. Отрезок *В* должен быть жестко зафиксирован в пространстве, так как при изменении его положения относительно корпуса автомобиля будет меняться его емкость на «землю», и, следовательно, резонансная частота антенны. Этот участок можно выполнить из коаксивльного кабеля внешним диамвтром 9—14 мм со снятой оплеткой. Зафиксировать участок *В* относительно корпуса автомобиля в этом случае можно с помощью скоб. Полезно определить емкость антенны *А* на корпус автомобиля, а затем совместную емкость частей *А* и *В* на корпус, чтобы судить о потерях в соединительной части *В*. Емкость на «землю» частей *А* и *В* необходимо знать для расчета значения индуктивности удлиняющих катушек. Для ориентировочного расчета можно пользоваться табл. 15.1. В этой таблице не учитывается индуктивность частей *А* и *В*, которая на диапазонах 6—20 м будет уменьшать общее значение индуктивности удлиняющей катушки. Паразитные емкости удлиняющих катушек, согласующего конденсатора и переключателя блока *С* на «землю» должны быть минимальны, что необходимо учитывать конструируя этот блок.

На выходе согласующего устройства, особенно при работе антенны на низкочастотных КВ диапазонах, будет высокое высокочастотное напряжение во время передачи, что необходимо учитывать в конструкции антенного опорного изолятора. Необходимо стремиться к тому, чтобы длина отрезка *D* была минимально возможной. Но это требование не столь критично, как к участку *В*. Реально длина коаксиального кабеля от трансивера до согласующего устройства может быть в пределах 2...4 м. Крайне важно обеспечить хороший элвктрический контакт с корпусом автомобиля оплетки коаксиального кабеля в двух точках: в месте подключения кабеля к согласующему блоку *С* и в месте подключения к трансиверу.

15.7. Суррогатные автомобильные вертикальные антенны

Наиболее эффективная работа штыревой антенны возимой радиостанции возможна лишь при установке антенны на опорном изоляторе в геометрическом центре крыши автомобиля. Однако иногда такая установка антенны невозможна. В этом случае можно использовать суррогатную автомобильную антенну.

Для конструкции суррогатной автомобильной вертикальной антенны возимой радиостанции наиболее просто можно использовать антенну для радиоприемника, находящуюся на крыле автомобиля. В этом случае коаксиальный кабель, идущий к ней, отсоединяется и соединение антенны с трансивером осуществляется соответственно с описанной ранее схемой. Конечно, расположение антенны на крыле автомобиля не самый удачный вариант. Близость сильноточных цепей автомобильной электрики к антенне и части *В* может служить причиной появления помех приему, и, возможно, придется экспериментировать с положением части *В* в пространстве по минимуму помех.

Можно использовать военную вертикальную автомобильную антенну типа «куликовка» или антенну другого типа от военной или служебной радиостанции. Такую антенну удобно расположить на заднем бампере автомобиля. Согласующее устройство может располагаться в багажнике автомобиля.

Если предполагается работать только на одном высокочастотном любительском диапазоне, находящвмся в пределах 6—12 метров, то можно использоввть антенну на магните, расположив удлиняющую катушку в основании антенны. Выполнение антенны без подключения корпуса автомобиля в качестве «земли» в месте установки штыря антенны снижает общий КПД работы антенной системы. На люби-

тельских диапазонах ниже 15 метров работа такой антенной системы будет неудовлетворительной и ее использование нерационально.

15.8. Согласующее устройство автомобильной вертикальной антенны с базовой катушкой

Следует отметить, что для увеличения КПД автомобильной антенны оптимальное расположение удлиняющей катушки — в центре штыря антенны. Но такое расположение центральной катушки большой индуктивности усложняет мвханическую конструкцию антенны. В этом случае индуктивность центральной катушки выбирается величиной, выполнимой практически, а антенная система настраивается в резонанс дополнительной удлиняющей катушкой, расположенной в основании штыря антенны, которая носит название *базовая катушка*.

Конструктивно базовые катушки можно выполнить фиксированной индуктивности, а конструкцию антенной системы выполнить таким образом, чтобы была возможность смены катушек в основании антенны (а может, и смены центральной удлиняющих катушек) при изменении диапазона работы.

Для дельнейшего согласования антенной системы, которая приведана к резонансу с помощью центральной и безовой катушек, с коаксиальным кабелем можно использовать переключаемые LC-цепи для каждого диапазона работы (рис. 15.9). Расчет параметров таких цепей приведен в главе 7 настоящей книги. Входное сопротивление антенной системы на выходе правильно выбранной цепи согласования будет близко к 50 Ом. В этом случае при электронной коммутации согласующих устройств и расположении их непосредственно в блоке *C* (рис. 15.8) длина кабеля *D* до трансивера может быть любой.

Настройку антенны, штырь которой согласован с помощью трансформирующих цепей, показанных на рис. 15.9, удобно производить с помощью ВЧ моста.

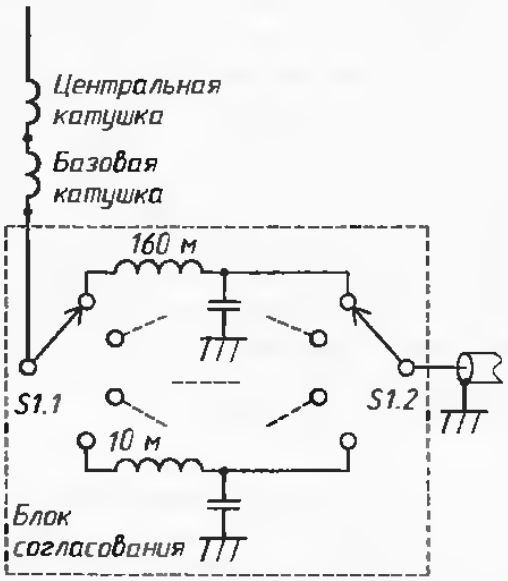


Рис. 15.9. Питание штыря антенны с помощью переключаемых LC-цепей

15.9. Спиральная вертикальная автомобильная антенна

На НЧ диапазонах в автомобилв будут эффективно работать витые вертикальные укороченныв антенны. Они представляют собой проводник, навитый вокруг диэлектрического основания (рис. 15.10). В разделе 1.4 настоящей книги витые антенны описаны достаточно подробно. Напомним, что сопротивление излучения витой антенны может быть в 3—5 раз выше сопротивления излучения такой же по высоте, но не витой антенны.

КПД витой антенны может быть достаточно высоким. Витые антенны используются на военных автомобилях.

Основная трудность, которая возникнет при самостоятельном изготовлении радиолюбителем такой антенны, заключается в выборе диэлектрического штыря антенны. Этот штырь, который должен быть достаточно тонким,

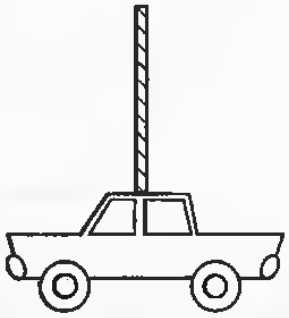


Рис. 15.10. Витая вертикальная автомобильная антенна

диаметром 8—40 мм в зависимости от диапазона работы антенны, и в то же время обладать необходимой механической прочностью и гибкостью. При наличии такой диэлектрической основы витую антенну для систем передвижной связи можно выполнить в радиолюбительских условиях.

Настройку витой вертикальной автомобильной антенны осуществляют путем отмотки части витков от верхней части антенны и одновременно измеряя ее резонанс с помощью высокочастотного моста или КСВ-метра. Витая антенна будет работать на частоте, где ее электрическая длина кратна λ/4. Для согласования витой антенны с коаксиальным кабелем можно использовать LC-цепь, схема которой приведена на рис. 15.9.

15.10. Антенна DDRR в возимых станциях

Первоначально антенна DDRR использовалась на военных кораблях, катерах, когда мачты или были заняты уже существующими антеннами, или было необходимо установить антенну, которая могла бы обеспечить радиосвязь при выходе из строя мачтовых сооружений. Использовались эти антенны в системах связи на очень низких частотах. На некоторых типах БТР (бронетранспортер) и БМП (боевая машина пехоты) армий США и России используются автомобильные антенны DDRR. На некоторых армейских машинах связи также используется антенна DDRR.

Радиолюбители тоже вполне могут использовать антенну DDRR для передвижной связи. Работа этой антенны более эффективна, чем короткой вертикальной антенны. Правда, антенна DDRR имеет свои недостатки. Она может обеспечить работу только в двух соседних кратных диапазонах. Например, антенна, эффективно работающая на 14 МГц, сможет еще работать на 7 МГц (диапазон, кратный 14 МГц) и 10 МГц (промежуточный диапазон между 14 и 7 МГц). Эффективность ее работы на частотах ниже 7 МГц будет крайне низка, на частотах выше 14 МГц эта антенна работать не будет. Диаграмма направленности DDRR — круговая, поляризация излучения — вертикальная, т. е. эта антенна оптимальна для работы возимых радиостанций.

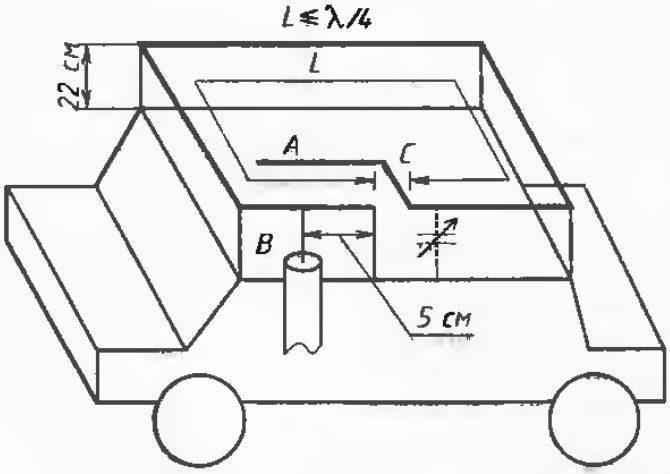


Рис. 15.11. Автомобильная антенна DDRR

Антенна DDRR для диапазона 10 МГц в радиолюбительских условиях была сконструирована и испытана G3LDO [2]. Антенна DDRR конструкции G3LDO на крыше автомобиля показана на рис. 15.11. Длина полотна антенны немного меньше, чем λ/4 на 10 МГц. Подстраивается антенна внутри диапазона приближением и уделением части *A* относительно части *B* с помощью винта, через открытое окно автомобиля рукой оператора. В «военных» антеннах DDRR эта настройка осуществляется переменным конденсатором, перестраиваемым с помощью электродвигателя. Способ питания антенны 50-омным кабелем показан на рис. 15.11. Для лучшего согласования с коаксиальным кабелем питания расстояние *C* может быть изменено при помощи хомута. При подключении к антенне переменного конденсатора (показано пунктиром на рис. 15.11) антенна могла работать на 7 МГц. G3LDO легко удавались связи с Европой, самая дальняя связь была им проведена с Австралией на 7 МГц SSB. Мощность передатчика была равна всего 10 Вт.

Антенна DDRR очень критична в настройке, как сообщает G3LDO, открытая дверь автомобиля увеличивает КСВ антенны от 1:1 до 3:1, приближение руки к антенне на расстояние 30 см расстраивало антенну. На конце антенны DDRR присутствует высоков напряжение даже при небольших мощностях, подводимых к ней. Поэтому при экспериментах с этой антенной следует соблюдать осторожность. Без сомнения, дельнейшие эксперименты с автомобильной антенной DDRR могут принести много интересного в любительскую подаижную связь.

15.11. Щелевые автомобильные антенны

Встречаются в специализированной литературе по антеннам сведения об использовании автомобильных щелевых антенн, работающих в метровых диапазонах волн для работы возимых радиостанций различных спецслужб. В этом случае кузов автомобиля изготавливается в соответствии с требованиями обеспечения работы этой антенны. Щелевые автомобильные антенны используются в служебной связи обычно в том случае, когда установка иных типов антенн невозможна или нвцелесообразна. В общем случае щелевая антенна обеспечивает почти круговую диаграмму направленности, что максимально подходит для передвижной связи.

Классическая щелевая антенна показана на рис. 15.12. Она представляет собой щель в экране бесконечных размеров с шириной прорези, равной (0,01...0,02)λ. Резонансная длина щели составляет 0,25λ или кратная этой длине. Существуют некоторые особенности для правильного возбуждения щелевой антенны, невыполнение которых сведет на нет преимущества использования щелевых антенн.

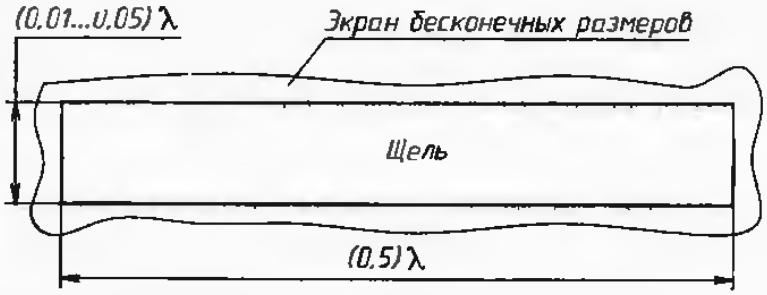


Рис. 15.12. Классическая щелевая антенна

Радиолюбительские щелевые антенны еще ждут своих экспериментаторов. Эксперименты с ними осложняет еще и то обстоятельство, что длина доступных щелей а разных типах автомобилей разная, следовательно, и различны резонансные частоты работы этих антенн. А прорезать в своем автомобиле щель для экспериментов с щелевой антенной решится нв каждый автолюбитель.

Интересная статья, рассказывающая об экспериментах с радиолюбительскими автомобильными щелевыми антеннами, приведена в [2]. В качестве щелевой антенны использовалась щель между корпусом автомобиля и багажником. Антенна возбуждалась при помощи коаксиального кабеля совместно с согласующим устройством в своем геометрическом центре, физически это было в мвсте установки замка багажника. Было обнаружено, что в этом случае антенна имеет ряд резонансных частот, некоторые из которых могут попасть на любительскив диапазоны. Если необходимо использовать такую щелевую антенну в ее нерезонансном диапазоне частот, то для питания антенны необходимо использовать согласующее устройство. Щелевые антенны ждут широких экспериментов с ними!

15.12. Рамочные автомобильные антенны

Рамочные антенны, расположенные на стекле автомобиля, могут обеспечить работу антенны лишь а одном направлении и создают большой уровень напряженности электромагнитного поля внутри автомобиля, что может быть небезопасно для оператора радиостанции. Использование таких антенн целесообразно ограничить только системами охранной сигнализации автомобиля. Применение для любительской связи рамочных антенн, расположенных на стекле автомобиля, нецелесообразно.

По принципу своего действия многие оконные рамочные автомобильные антенны являются проволочным аналогом щелевой антенны. Следовательно, работа таких антенн менее эффективна, чем щелевой антенны, являющейся их прототипом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peter Dodd (G3LDO). The Mobile Roof-Rack Antenna. — QST, November 1998. — P. 29—32.
2. Гончаренко И. Кузов автомобиля в качестае антенны. www.qsl.net/dl2kg

16. Развитие антенн зенитного излучения

Начиная с 60-х годов XX века, коротковолновые антенны зенитного излучения постепенно стали вытесняться УКВ и СВЧ антеннами зенитного излучения. Такова неумолимая поступь прогресса!

При переходе от КВ диапазона к УКВ и СВЧ конструкции зенитных антенн становились все более и более эффективными в работе.

Итак, XXI век дает антеннам зенитного излучения новое качество и новое развитие. Интересно, какими будут антенны зенитного излучения XXII века?

16.1. Послевоенное развитие коротковолноаых антенн зенитного излучения

Первое время после Второй мировой войны использование антенн зенитного излучения развивалось большими темпами. Эти антенны применялись в местном коротковолновом вещании, в военной радиосвязи. Однако с середины 50-х годов область использования коротковолновых антенн зенитного излучения стала заметно уменьшаться. Это было связано с тем, что для местного редиовещания начали применять УКВ диапазоны и FM модуляцию. Поэтому коротковолноаые местные вещательные станции постепенно закрылись. Сейчас осталось очень немного таких станций, которые в основном используются для вещения в горных районах, где прохождение УКВ в зоне прямой видимости затруднено, и в некоторых севврных районах. В этих районах население мвлочисленное и установка нескольких УКВ вещательных радиостанций, перекрывающих большую зону вещания, нецелесообразна. В военном деле начали использовать такие виды связи, как тропосферную УКВ связь, радиорвлейную связь, а позже — спутниковую связь.

Коротковолновая связь в военном деле с использованием антенн зенитного излучения постепенно уходит в прошлое. Поскольку при ядерном взрыве коротковолновая связь как в месте взрыва, так и в отделенных от этой территории местах нарушается, то коротковолновой связи не удвляют такого внимания, как уделяли во время Второй мировой войны и некоторое время после нее.

Постепенно закрываются ионосферные станции. Состояние ионосферы оказалось дешевле и точнее исследовать с помощью запускаемых с земли ионосферных

зондов, а позже с помощью исследовательских космических спутников, летающих вокруг Земли. Так что же, неужели антенны зенитного излучения начали уходить в прошлое? Нвт! В середине XX века началось бурное развитие антенн зенитного излучения, предназначенных для работы на УКВ и СВЧ, которое затем продолжилось и в XXI веке.

16.2. Современные зенитные антенны

Для чего же используются в современном мире зенитные антенны УКВ и СВЧ? Конечно, в основном это связь со спутниками и космическими станциями.

Спутниковые антенны зенитного излучения УКВ и СВЧ чрезвычайно разнообразны по конструкции. Размеры и параметры антенн зависят от их частотного диапазона и назначения. Стационарные приемопервдающие антенны звнитного излучения УКВ и СВЧ, предназначенные для связи с отделенными межпланетными станциями, могут занимать площадь в десятки квадратных метров. Такие антенны могут стационарно располагаться на земной поверхности. Стационарные зенитные спутниковые антенны могут быть выполнены с возможностью наведения в определенный сектор неба. Для осуществления этой функции зенитные антенны имеют громоздкий механизм, предназначенный для их поворота.

Если антенны зенитного излучения коротких волн в основном использовались военными и служебными станциями, то зенитные внтенны УКВ и СВЧ использует большинство гражданского населения Земли. Основная функция работы «гражданских» зенитных антенн — это спутниковое телевидение. Домашнее спутниковое телевидение, для приема которого используют СВЧ антенны зенитного излучения, установленные на стенах домов, теперь стало привычным делом. Может быть, пройдет еще немного времени и спутниковов телевидение полностью вытеснит традиционное телевещание с его гигантскими антенными мачтами, на которых высоко над землей подняты передающие телевизионные антенны.

Спутники обеспечили связь со всем миром. Твперь люди, проживающие в отдаленных и горных районах, куда трудно или дорого провести традиционные линии связи, могут через спутник принимать телевидение, вести телефонные переговоры, работать в Интернете. Все это стало возможно благодаря развитию антенн зенитного излучения.

Другое назначение антенн зенитного излучения — это использование их в мобильных спутниковых телефонах. С появлением систем мобильной спутниковой связи, таких как Iridium, Orbcomm, Globastar, CCC Thuraya, использующих низкоорбитальные спутники, стала острой проблема использования для них новых типов антенн зенитного излучения. Эти антенны должны иметь большой уровень зенитного излучения для обеспечения надежной связи со спутниками. В то же время эти антенны должны были быть достаточно компактными, чтобы помещаться на переносном радиотелефоне. Для работы в мобильных телефонах этих систем были разработаны распределенные по длине спиральные антенны. Такие антенны имеют сильнов осевое излучение и могут работать с круговой поляризацией. Были разработаны антенны, использующие как двухзаходные (для систем Thuraya), так и даже четырехзаходные спирали. Такие двухзаходные антенны работают с линейной поляризацией — вертиквльной. Разработаны комбинированные антенны, обеспечивающие работу как с зенитным излучением для спутниковой связи, так и имеющие прижатое к горизонту излучвние, необходимое для работы с наземными системами сотовой связи.

Используются антенны зенитного излучения (на прием) и в системах определения координат GSM. Можно сказать, что без УКВ и СВЧ антенн зенитного излучения трудно себе представить современную жизнь. Многообразие конструкций современных УКВ и СВЧ антенн зенитного излучения просто огромно!

В этой главе были описаны только основные типы современных антенн зенитного излучения, которые сразу видны нам и которые окружают нас повсеместно. А многие типы антенн зенитного излучения, работающие в диапазонах УКВ и СВЧ, от которых зависит наша современная жизнь, скрыты от нашего взора.

В настоящее время происходит усиленное развитие антенн зенитного излучения СВЧ. Осваиваются все более и более верхние диапазоны частот СВЧ. Разрабетываются малогабаритные зенитные антенны СВЧ для использования в радиотелефонах, в системах цифровой связи, в телевидении. Современные антенны зенитного излучения диапазона СВЧ работают с различными видеми поляризации — линейной, круговой с правым и левым вращением вектора электрической поляризации.

Но я должен закончить рассказ об этих удивительных антеннах и об их замечательной истории. Читатель сейчас может сам наблюдеть за современным развитием антенн зенитного излучения диапазона СВЧ. Описание же всех используемых в настоящее время зенитных антенн диапазона СВЧ займет не одну сотню страниц...

Часть 4
АНТЕННЫ УКВ

Эта часть посвящана описанию простых УКВ антенн, при выполнении которых точно по указанным размерам не требуется наладка или их наладка настолько проста, что под силу даже начинающему редиолюбителю.

Эта часть книги содержит три главы, каждая из которых посвящена отдельному семейству УКВ антенн. В главе 17 приведено описание простых УКВ антенн, которые помогут уаеличить дальность связи переносной радиостанции. Эти антенны можно использовать совместно как с переносными, так и со стационарными УКВ редиостанциями. Далее, в главе 18, дано описание простых коллинеарных J-антенн, которые облвдают большим усилением и в то же время несложны в настройке. Эти антенны сейчас приобретают большую популярность среди радиолюбителей. Освоив конструирование простых J-антенн, редиолюбитель сможет перейти к изготовлению сложных коллинеарных J-антенн, которые описаны в главе 19. Эти антенны смогут обеспечить эффективную работу любой УКВ редиостанции.

Для любой УКВ радиостанции, для любого места ве установки можно найти в этой части книги свою оптимальную антенну.

17. ПРОСТЫЕ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА 145 МГц

Еще нвдавно для работы на диапазоне 145 МГц использовалась в основном самодельная аппаратура. Среди радиолюбителей были популярны УКВ трансвертеры, многие из которых своими размерами были сравнимы с самим используемым с ним трансивером. Радиолюбители переделывали списанные промышленные УКВ радиостанции типа «Пальма» на любительский УКВ диапазон 145 МГц, получая радиостанцию, работающую на нескольких каналах. Потом редиолюбителям стали доступны «Виолы», а позже и «Маяки», работающив на сорока каналах. Эти радиостанции тогда выглядели просто фантастически по своим возможностям!

В настоящее время можно сравнительно недорого приобрести многоканальные переносные УКВ трансиверы всемирно известных фирм — «YAESU», «KENWOOD», «ALINCO», которые по своим параметрам и удобству работы значительно превосходят как самодельную аппаратуру диапазона 145 МГц, так и переделанную промышленную — «Пальмы», «Маяки», «Виолы».

Но для работы через репитер из дома, офиса, во время движения при работе из автомобиля необходима антенна более эффектная, чем используемая совместно с пераносной радиостанцией «резинка». При использовании стационарной «фирменной» УКВ станции часто бывает целесообразно использовать с ней самодельную УКВ антенну, так как приличная «фирменная» наружная антенна диапазона 145 Мгц стоит нвдашево.

Изготовлению простых самодельных антенн, пригодных к использованию со стационарными и переносными УКВ радиостанциями, и посвящан этот материал.

17.1. Особенности антенн диапазона 145 МГц

Ввиду того, что для изготовления антенн диапазона 145 Мгц обычно используют толстый провод или трубку диаметром от 1 до 10 мм (иногда применяют и более толстые вибраторы, особенно в коммерческих антеннах), то антенны диапазона 145 Мгц относительно широкополосны. Это часто позволяет при выполнении антенны точно по указанным размерам обойтись без ее дополнительной настройки.

Для настройки антенн диапазона 145 Мгц необходимо иметь КСВ-метр. Это может быть как самодельный прибор, так и промышленного изготовления. На

диапазоне 145 МГц радиолюбители пректически не используют мостовые измерители сопротивления антенн из-за кажущейся сложности их корректного изготовления. Хотя при аккуратном изготовлении мостового измерителя и, следовательно, корректной его работы на этом диапазоне, можно точно определить входное сопротивление УКВ антенн. Но даже используя только один КСВ-метр проходного типа, вполне возможно настраивать самодельные УКВ антенны. Мощности 0,5 Вт, которую обеспечивают импортные переносные радиостанции в режиме «LOW» и отечественные носимые радиостанции УКВ диапазона типа «Днепр», «Виола», «ВЭБР», вполне достаточно для работы многих типов УКВ КСВ метров. Режим «LOW» позволяет производить настройку антенн, не опасаясь выхода из строя выходного каскада редиостанции, при любом входном сопротивлении антенны.

Перед началом настройки УКВ антенны желательно убедиться в правильности показаний КСВ-метра. Неплохо иметь два КСВ-метра, рассчитанных для работы в первдающих трактах 50 и 75 Ом. При настройке УКВ антенн желательно иметь контрольную антенну, в качестве которой может быть или «резинка» от переносной радиостанции, или самодельный четвертьволновый штырь. При настройке антенны измеряют уровень напряженности поля, создаваемый настраиваемой антенной относительно контрольной. Это деет возможность судить о сравнительной эффективности работы настраиваемой антенны. Конечно, если при измерениях использовать стандартный калиброванный измеритель напряженности поля, то можно получить точную оценку эффективности работы антенны. При использовании калиброванного измерителя поля несложно снять и диаграмму направленности антенны. Но даже используя при измерениях самодельные измерители напряженности поля и получив только качественную картину распределения напряженности электромагнитного поля, вполне можно сделать заключение об эффективности работы настраиваемой антенны и приближенно оценить ее диаграмму направленности.

Рассмотрим практические конструкции УКВ антенн.

17.2. Простые антенны

Наиболее простую наружную УКВ антенну (рис. 17.1) можно выполнить с использованием антенны, работающей совместно с переносной радиостанцией. На раме окна с наружной (рис. 17.2) или с внутренней стороны на удлиняющем деревянном бруске крепится металлический уголок, в центре которого установлено гнездо для подключения этой антенны. Необходимо стремиться к тому, чтобы коаксиальный кабель, идущий до антенны, был минимально необходимой длины. По краям уголка крепятся 4 противовеса длиной по 50 см. Необходимо обеспвчить хороший электрический контакт противовесов, антенного разъема с металлическим уголком. Укороченная витая антенна радиостанции имеет входное сопротивление в пределах 30...40 Ом, так что для ее питания можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. С помощью угла наклона противовесов можно в некоторых пределах менять входное сопротивление антенны и, следовательно, провести согласование антенны с коаксиальным кабелем. Вмвсто фирменной «резинки» временно можно использовать антенну из медного провода диаметром 1...2 мм длиной 48 см, который вставляется в антенное гнездо остро заточенным концом.

Надежно работает УКВ антенна, выполненная из коаксиального кабеля со снятой внешней оплеткой. Кабель заделывается в ВЧ разъем, аналогичный разъему фирменной антенны (рис. 17.3). Длина коаксиального кабеля, применяемого для изготовления антенны, равна 48 см. Такую антенну можно использовать совместно с переносной радиостанцией взамен поломанной или утерянной штатной антенны.

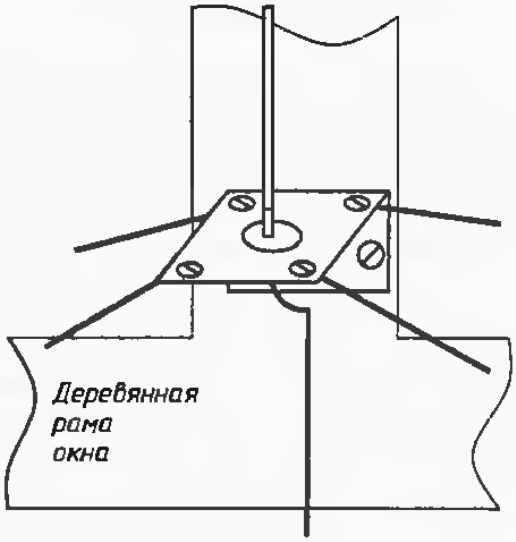


Рис. 17.1. Простая наружная УКВ антенна

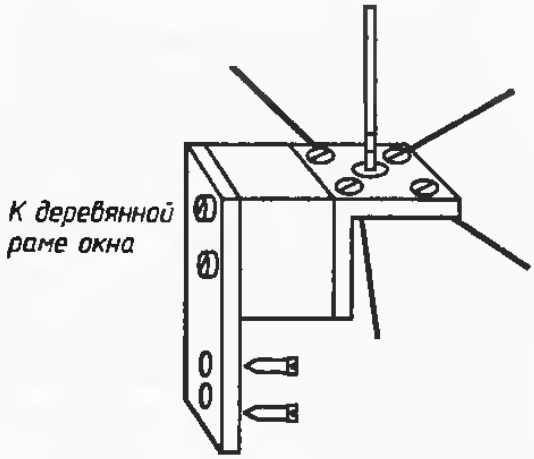


Рис. 17.2. Конструкция простой наружной УКВ антенны

Для быстрого изготовления выносной УКВ антенны можно использовать соединительный коаксивльный кабель длиной 2...3 м, который оконечен разъемами, соответствующими и антенному гнезду радиостанции и антенны. Антенну к такому куску кабеля можно подключить с помощью высокочастотного тройника (рис. 17.4). В этом случае с одного конца тройника подключается антенна-«резинка», а с другого конца тройника накручиваются противовесы длиной по 50 см или через разъем подключается другой тип радиотехнической «земли» для УКВ антенны.

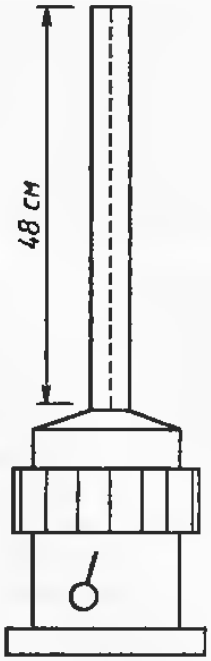


Рис. 17.3. Простая самодельная УКВ антенна

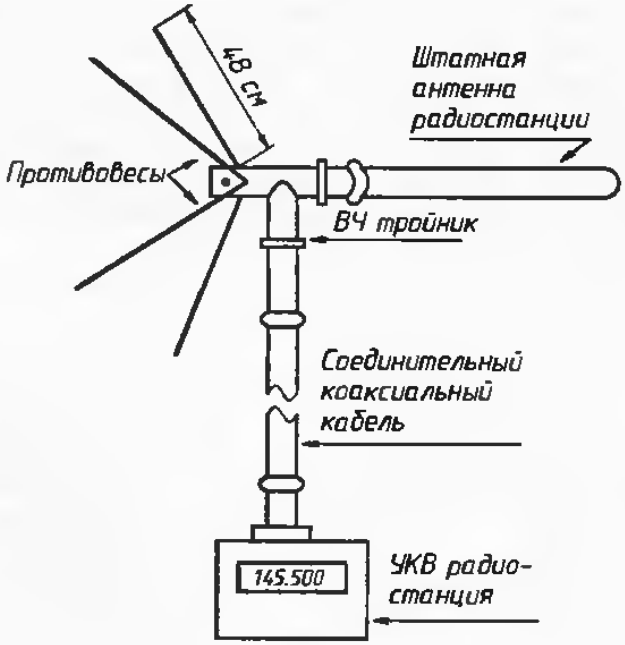


Рис. 17.4. Простая выносная УКВ антенна

17.3. Самодельные антенны переносной радиостанции

При утере или поломке штатной антенны переносной радиостанции можно выполнить самодельную витую УКВ антенну. Для этого используют основу — полиэтиленовую изоляцию коаксиального кабеля диаметром 7...12 мм и длиной 10—15 см, нв который намотано первоначально 50 см медного провода диаметром 1—1,5 мм. Для настройки витой антенны очень удобно использовать измвритель частотных характеристик, но можно использовать и обыкновенный КСВ-метр. Первоначально определяют резонансную частоту собранной антенны, затем, откусывая часть витков, сдвигая, раздвигая витки антенны, настраивают витую антенну в резонанс на 145 МГц. Процедура эта не очень сложная, и, настроив 2—3 витые антенны, радиолюбитепь может производить настройку новых витых антенн буквально за 5...10 мин, конечно, при наличии вышеуказвнных приборов. После настройки антенны необходимо зафиксировать витки или с помощью изолвнты, или с помощью кембрика, размоченного в ацетонв, либо с помощью термоусаживающей трубки. После закрепления витков необходимо еще раз проконтролировать частоту антенны и, если это необходимо, подстроить ее с помощью верхних витков.

Следует обратить внимвнив на то, что в фирмвнных укороченных витых антеннах используют термоусаживающие трубки для фиксации проводника антенны.

17.4. Полуволновая полевая антенна

Для эффективной работы антенн длиной четверть волны необходимо использовать несколько четвертьволновых противовесов. Это усложняет конструкцию для полевой четвертьволновой антенны, которая должна быть вынесвнв в простравнстве относительно УКВ трансивера. В этом случае можно использовать УКВ антенну электрической длиной λ/2, которая не требует для своей работы противовесов, и обеспечивает прижатую к земле диаграмму направленности и простоту установки.

Для антенны электрической длиной λ/2 стоит проблема согласования ев высокого входного сопротивления с низким волновым сопротивлением коаксиального кабеля. Антенна длиной λ/2 и диаметром 1 мм будет иметь входнов сопротивление на диапазоне 145 МГц около 1000 Ом. Согласование с помощью четвертьволнового резонаторв, оптимальное в этом случае, не всегда удобно практически, так как требует подбора точек подключения коаксиального кабеля к резонатору и точной настройки штыря антенны в резонанс. Также относительно велики и размеры резонатора для диапазона 145 МГц, что приводит к уееличению размеров антенны.

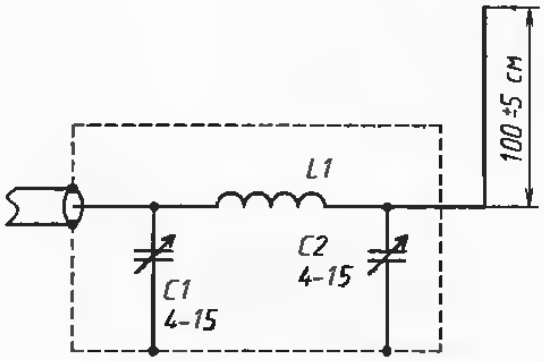


Рис. 17.5. Согласование УКВ антенны с помощью П-контура

Однако при небольших мощностях, подводимых к антенне, вполне удовлетворительнов согласование можно достигнуть при помощи П-контура, аналогично тому, как описано в литература [1]. Схема полуволновой антенны и ее согласующего устройства показана на рис. 17.5. Длина штыря антенны выбирается немного короче или длиннее длины λ/2. Это необходимо, поскольку уже при небольшом отличии электрической длины антенны от λ/2 активное сопротивление импеданса антенны заметно понижается, а реактивная его часть на нвчальном этапе возрастает незначительно. Вследствие этого возможно

согласование с помощью П-контура такой неразонансной антенны с большей эффективностью, чем согласование резонансной антенны длиной ровно λ/2. Предпочтительно использовать антенну длиной, немного большей, чем λ/2.

В согласующем устройстве были использованы воздушные подстроечные конденсаторы типа КПВМ-1. Катушка *L1* содержит 5 витков посеребренного провода диаметром 1 мм, намотанного на оправке диаметром 6 мм и шагом 2 мм.

Настройка антенны не сложна. Включив в тракт кабеля антенны КСВ-метр и одновременно измеряя уровень напряженности поля, создаваемого антенной, с помощью изменения емкости переменных конденсаторов *C1* и *C2*, сжатия-растяжения витков катушки *L1* добиваются минимальных показаний КСВ-метра и соответственно максимальных показаний измерителя напряженности поля. Если эти даа максимума не будут совпадать, нвобходимс немного изменить длину антенны и сноаа повторить ее настройку.

Согласующее устройство было размещено в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита размерами 50×30×20 мм. При работе из стационарного рабочего места радиолюбителя антенна может быть размещена в проеме окна. При работе в полевых условиях антенна может быть подвешена за верхний конец на дерево с помощью лески, как показано на рис. 17.6. Для питания антенны можно использовать 50-омный коаксиальный кабель. Использование 75-омного коаксиального кабеля несколько уееличит КПД согласующего устройства антенны, но в то же время может потребовать настройки выходного каскада радиостанции для работы на нагрузку 75 Ом.

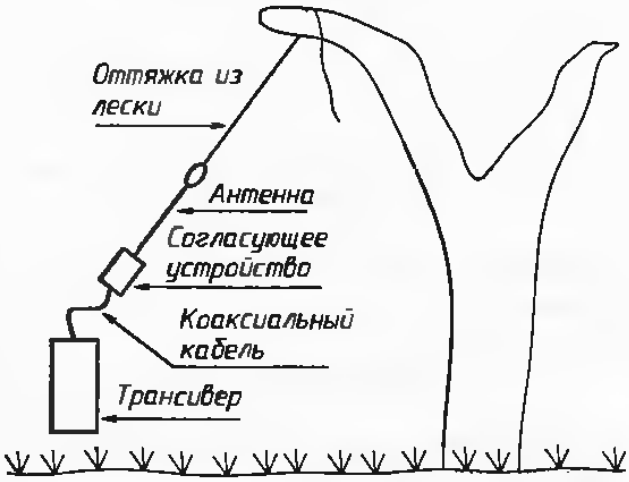


Рис. 17.6. Установка антенны для работы в полевых условиях

17.5. Оконные антенны на основе фольги

На основе клеящейся фольги, используемой в системах охранной сигнализации, можно построить очень простые конструкции оконных УКВ антенн. Такую фольгу можно приобрести уже с клеевой основой. Тогда, освободив одну сторону фольги от защитного слоя, ее достаточно просто прижать к стеклу и фольга моментально надежно приклеивается. Фольгу без клеевой основы можно приклеить к стеклу при помощи лака или клея типа «Момент». Но для этого необходимо иметь некоторый навык. Фольгу можно даже закрвпить на окне при помощи липкой ленты.

При соответствующей тренировке вполне возможно осуществить качественное паяное соединение центральной жилы и оплетки коаксиального кабеля с алюминиевой фольгой. Исходя из личного опыта, каждый тип такой фольги требует для пайки своего флюса. Некоторые типы фольги хорошо паяются даже с использованием только канифоли, некоторые удается паять с помощью паяльного жира, другие типы фольги требуют использования активных флюсов. Флюс необходимо испытывать на конкретном типе фольги, используемом для изготовления антенны, заблаговременно до ев установки.

Хорошие результаты дает использование подложки из фольгированного стеклотекстолита для пайки и крепления фольги, как показано на рис. 17.7. Кусочек

фольгированного стеклотекстолита с помощью клея «Момент» приклеивается к стеклу, к краям фольги припаивается фольга антенны, жилы коаксиального кабеля припаиваются к медной фольге стеклотекстолита на небольшом удалении от фольги антенны. Паяное соединение фольги антенны и фольги стеклотекстолита необходимо защитить при помощи влагостойкого лака или клея. В противном случае возможна коррозия этого соединения.

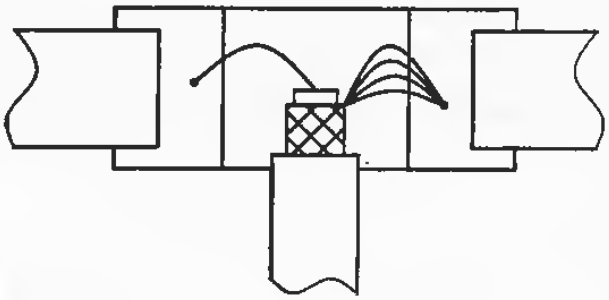


Рис. 17.7. Подключение фольги антенны к коаксиальному кабелю

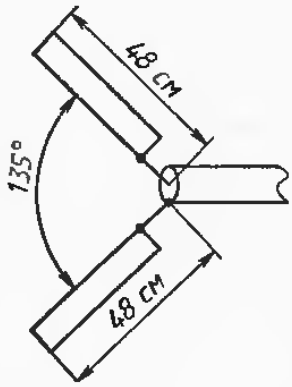


Рис. 17.8. Оконная вертикальная дипольная УКВ антенна

Разберам практические конструкции оконных антенн, построенных на основе фольги.

17.6. Вертикальная оконная дипольная антенна

Схема вертикальной дипольной оконной УКВ антенны на основе фольги показана на рис. 17.8.

Четвертьволновый штырь и противовес расположены под углом 135° для того, чтобы входнов сопротивление антенной системы приближалось к 50 Ом. Это дает возможность использовать для питания антенны коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом и использовать антенну совместно с переносными радиостанциями, выходной каскад которых рассчитан для подключения коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом. Коаксиальный кабель должен идти перпендикулярно антенне по стеклу так долго, как это возможно.

17.7. Рамочная оконная антенна на основе фольги

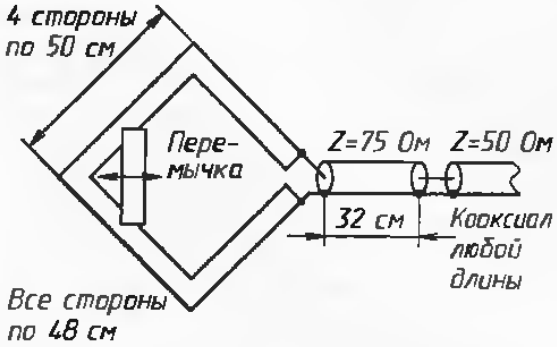


Рис. 17.9. Рамочная оконная УКВ антенна

Эффективнее дипольной вертикальной антенны будет работать рамочная оконная УКВ антенна, показанная на рис. 17.9. При питании антенны с бокового угла максимум излучаемой поляризвции расположен в вертикальной плоскости, при питании антенны в нижнем углу максимум излучаемой поляризации находится в горизонтальной плоскости. Но при любом положении точек питания антенна излучает радиоволну с комбинированной поляризацией квк вертикальной, так и горизонтальной. Это обстоятельство весьма благоприятно для связи с переносными и передвижными радиостанциями, положение антенн которых во время движения будет меняться.

Входное сопротивление оконной рамочной антенны составляет 110 Ом. Для согласования этого сопротивления с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом используется четвертьволновая секция из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом. Кабель питания должен идти перпендикулярно оси антенны так долго, как это возможно. Рамочная антенна имеет усиление примерно на 2 дБ выше относительно дипольной оконной антенной.

При выполнении оконных антенн из фольги шириной 6—20 мм они не требуют настройки и работают в диапазоне частот значительно более широком, чем любительский диапазон 145 МГц. Если полученная резонансная частота антенн оказалась ниже требуемой, то диполь можно настроить, отрезая симметрично фольгу с его концов. Рамочную антенну можно настроить, используя перемычку из той же фольги, что была использована для изготовления антенны. Фольга замыкает полотно антенны в углу, напротив точек питания. После настройки контакт перемычки с антенной может быть обеспечен или при помощи пайки, или при помощи клейкой липкой ленты. Такая липкая лента должна достаточно сильно прижать перемычку к полотну антенны для того, чтобы обеспечить надежный электрический контакт с ней.

К антеннам, выполненным из фольги, можно подводить значительные уровни мощности — до 100 Вт и более.

17.8. Наружная вертикальная антенна

При размещении антенны снаружи помещения всегда встает вопрос о защите раскрыва коаксиального кабеля от атмосферных воздействий, об использовании качественного антенного опорного изолятора, влагостойкого провода для антенн и т. д. Эти проблемы можно решить, выполнив защищенную наружную УКВ антенну. Конструкция такой антенны показана на рис. 17.10.

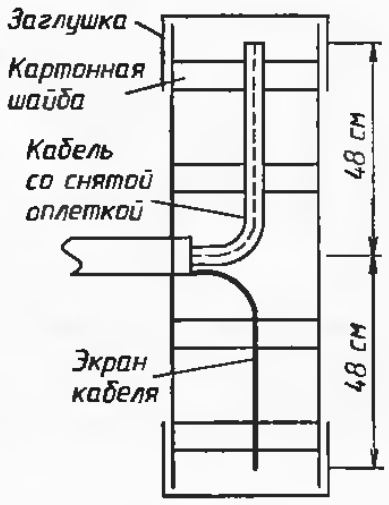


Рис. 17.10. Защищенная наружная УКВ антенна

В центре пластиковой водопроводной трубы длиной 1 м проделывается отверстие, в которое может туго войти коаксиальный кабель. Затем кабель туда продевается, высовывается из трубы, оголяется на расстоянии 48 см, экран кабеля скручивается и опаивается на длине 48 см. Кабель с антенной заводится обратно в трубу. Сверху и снизу на трубу одеваются стандартные заглушки. Влагоизолировать отверстие, куда входит коаксиальный кабель не представляет особого труда. Это можно сделать с помощью автомобильного силиконового герметика или быстро твердеющей автомобильной эпоксидки. В результате получаем красивую, влагоизолированную защищенную антенну, которая многие годы может работать под действием атмосферных воздействий.

Для фиксации вибратора и противовеса антенны внутри можно использовать 1—2 картонные или пластиковые шайбы, плотно надетые на вибраторы антенны. Трубу с антенной можно установить на оконную раму, на неметаллическую мачту или разместить в другом удобном месте.

17.9. Простая коаксиальная коллинеарная антенна

Простая коллинеарная коаксиальная УКВ антенна может быть выполнена из коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом. Для защиты этой антенны от атмосферных воздействий может быть использован отрезок водопроводной трубы, как было описано в предыдущем параграфе. Конструкция коллинеарная коаксиальная УКВ антенны показана на рис. 17.11.

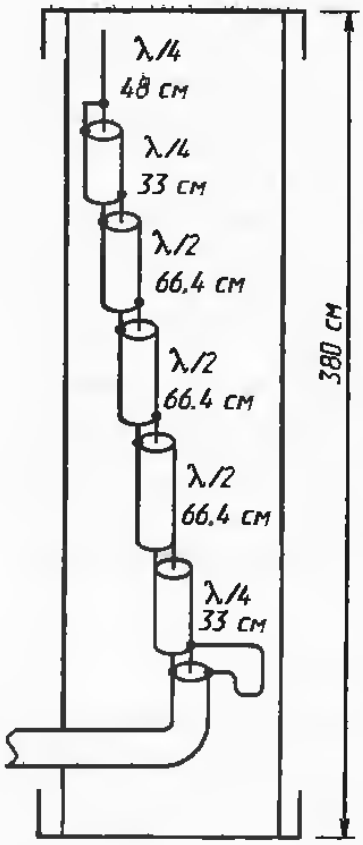


Рис. 17.11. Простая коллинеарная УКВ антенна

Антенна обеспечивает теоретическое усиление не менее чем на 3 дБ большве по сравнению с четвертьволновым вертикалом. Она не нуждается в противовесах для своей работы (хотя их наличие улучшает работу антенны) и обеспечивает прижатую диаграмму напрааленности к горизонту. Описание такой антенны неоднократно появлялось на страницах отечественной и зарубежной радиолюбительской литературы, но наиболее удачное описание, содержащее согласующую петлю, что позволяет достигнуть КСВ 1:1, было представлено в литературе [2].

Размеры антенны на рис. 17.11 указаны в сантиметрах для коаксиального кабеля с коэффициентом укорочения равным 0,66. Такой коэффициент укорочения имеет большинстео коаксиальных кабелей с полиэтиленовой изоляцией. Размеры согласующей петли показаны на рис. 17.12. Без использования этой петли КСВ антенной системы может превышать 1,7. Если антенна оказалась настроенной ниже диапазона 145 МГц, необходимо немного укоротить верхнюю секцию, если выше, то удлинить ее. Конечно, оптимальная настройка возможна пропорциональным укорочением-удлинением всех частей антенны, но это сложно проделать в радиолюбительских условиях.

Несмотря на большие размеры пластиковой трубы, необходимой для защиты этой антенны от атмосферных воздействий, использование коллинеарной антенны такой конструкции вполне целесообразно. Антенна может быть вынесенв в сторону от здания с помощью деревянных реек, как показано на рис. 17.13. Антенна может выдержать значительные подаодимые к ней мощности до 100 и более ватт и может быть использована совместно как со стационарными, так и с переносными УКВ радиостанциями. Использование такой антенной совместно с маломощными носимыми радиостанциями даст наибольший эффект.

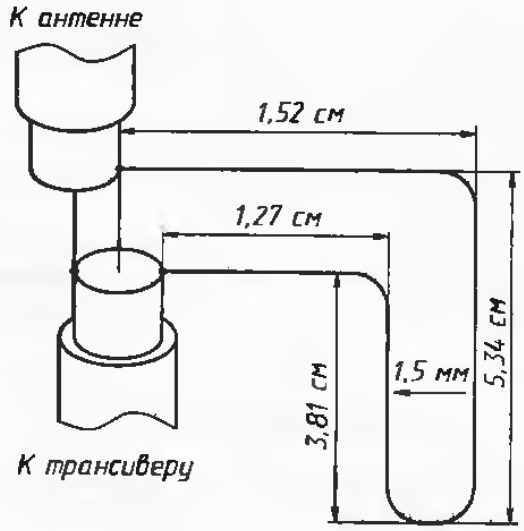


Рис. 17.12. Размеры согласующей петли

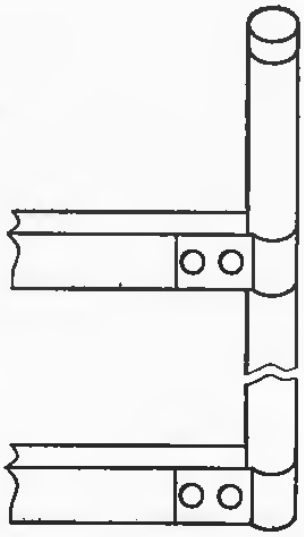


Рис. 17.13. Установка коллинеарной антенны

17.10. Простая коллинеарная антенна

Эта антенна была собрана мной, подобно конструкции автомобильной выносной антенны, используемой в сотовом радиотелефоне. Для переделки ее на любительский диапазон 145 МГц мной были изменены пропорционально все размеры «телефонной» антенны. В разультате получилась антенна, схема которой показана на рис. 17.14. Антенна обеспечивает прижатую к горизонту диаграмму направленности и теоретическое усиление не менее 2 дБ над простым четвертьволновым штырем. Для питания антенны использовался коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом.

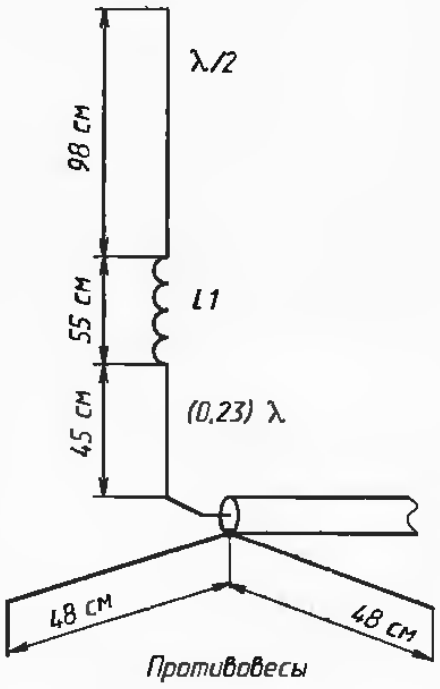


Рис. 17.14. Простая коллинеарная антенна

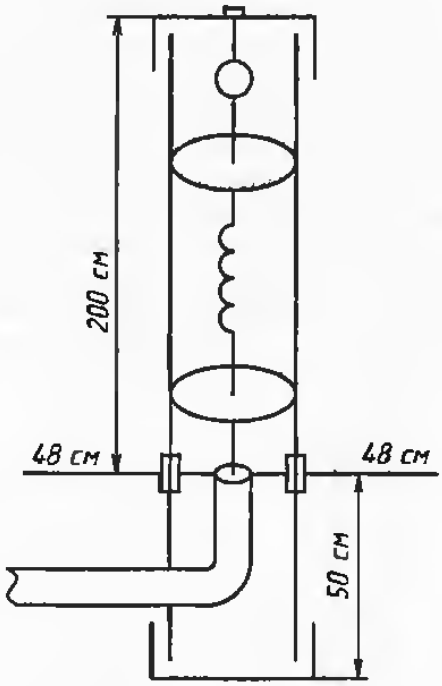


Рис. 17.15. Конструкция простой коллинеарной антенны

Практическая конструкция антенны показана на рис. 17.15. Антенна была выполнена из целого отрезка медного провода диаметром 1 мм. Катушка *L1* содержала 1 м этого провода, намотанного на оправке диаметром 18 мм, расстояние между витками было равно 3 мм. При выполнении конструкции точно по размерам антенна практически не требует наладки. Возможно, понадобится небольшая подстройка антенны сжатием-растяжением витков катушки для достижения минимального КСВ. Антенна была размещена в пластиковый водопроводной трубе. Внутри трубы антенный провод был зафиксирован с помощью кусочков пенопласта. Нв нижнем конце трубы были установлены четыре четвертьволновых противовеса. На них была нарезана резьба, и они с помощью гаек были закреплены на пластиковой трубе. Противовесы могут быть диаметром 2...4 мм в зависимости от возможности нарезать на них резьбу. Для их изготовления можно применить медный, латунный или бронзовый провод.

Антенна может быть установлена на даравянных рейках на балконе, как показано на рис. 17.13. Эта антенна может выдержать значительные уровни подводимой к ней мощности.

Такую антенну можно рассматривать как укороченную антенну КВ диапазонв с центральной удлиняющей катушкой. Действительно, измеренный с помощью мос-

тового измерителя сопротивления резонанс антенны в диапазоне КВ оказался лежащим в районе частоты 27,5 МГц. Очевидно, что варьируя диаметром катушки и ее длиной, но сохранив при этом длину провода ее намотки, можно добиться того, чтобы антенна работала как в УКВ диапазоне 145 МГц, так и в одном из КВ диапазонов — 12 или 10 метров. Для работы на КВ диапазонах к антенне необходимо подключить четыре противовеса длиной λ/4 для выбранного КВ диапазона. Такое деойное использование антенны сделает ее еще более универсальной.

17.11. Экспериментальная 5/8-волновая антенна

При проведении экспериментов с радиостанциями диапазона 145 МГц часто бывает необходимо подключить к ее выходному каскаду испытываемую антенну, чтобы проверить работу тракта приема радиостанции или настроить выходной каскад передатчика. Для этих целей мной долгое время используется простая 5/8-аолновая УКВ антенна, описание которой было приведено в литературе [3].

Эта антенна состоит из секции медного провода диаметром 3 мм, который одним концом соединен с удлиняющей катушкой, а другим — с настроечной секцией. На конце провода, соединенном с катушкой, нарезана резьба, а на другом конце припаяна настроечная секция из медного провода диаметром 1 мм. Согласуется антенна с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом путем подключения к разным виткам катушки и, может быть, небольшим укорочением настроечной секции. Схема антенны показана на рис. 17.16, конструкция антенны показана на рис. 17.17.

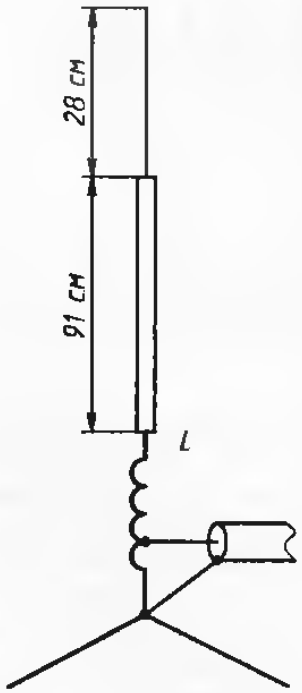


Рис. 17.16. Схема простой 5/8-волновой УКВ антенны

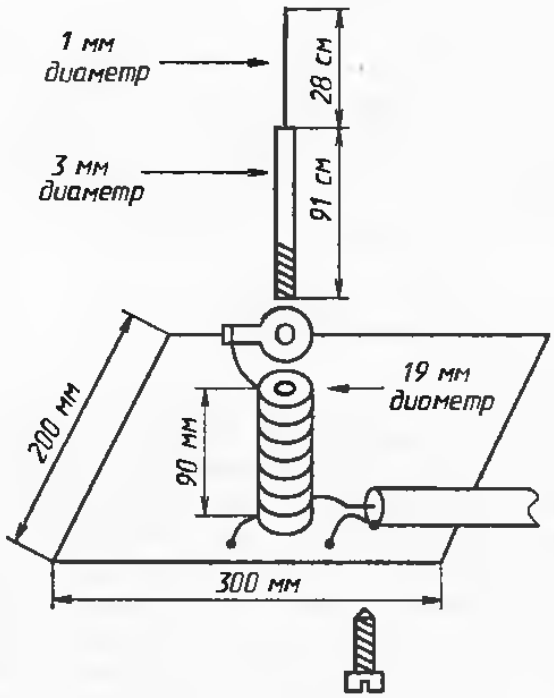


Рис. 17.17. Конструкция простой 5/8-волновой УКВ антенны

Катушка выполнена на плексигласовом цилиндре диаметром 19 мм и длиной 95 мм. В торцах цилиндра сделана разьба, в которую с одной стороны ввинчивается вибратор антенны, а с другой стороны она прикручивается к куску фольгированного стеклотекстолита размерами 20×30 см, который служит «землей» антенны. С задней стороны к нему был приклеен магнит от старого ди-

намика, в результате чего антенна может крепиться к подоконнику, к батарве отопления, к другим железным предметам.

Катушка содержит 10,5 витка провода диаметром 1 мм. Провод катушки равномерно размещен по каркасу. Отвод к коаксиальному кабелю осуществлен от четвертого витка от заземленного конца. Вибратор антенны ввинчивается в катушку, под него вставляется контактная ламель, к которой припаивается «горячий» конец удлиняющей катушки. Нижний конец катушки припаивается к фольге «земли» антенны. Антенна обеспечивает КСВ в кабеле не хуже 1:1,3. Настройка антенны осуществляется путем укорочения с помощью кусачек ее верхней части, которая первоначально выполняется чуть длиннее, чем необходимо.

Мной были проведены эксперименты по установке этой антенны на оконном стекле. В этом случае вибратор первоначальной длиной 125 см из алюминиевой фольги был приклеен по центру окна. Удлиняющая катушка использовалась та же, и была установлена на раме окна. Противовесы были выполнены из фольги. Концы антенны и противовесов были немного загнуты, чтобы поместиться на оконном стекле. Вид оконной 5/8-волновой УКВ антенны показан на рис. 17.18. Антенна легко настраивается в резонанс постепенным укорочением фольги вибратора с помощью лезвия и постепенным переключением витков катушки по минимуму КСВ. Оконная антенна не портит интерьера комнаты и может использоваться в качестве постоянной антенны для работы на диапазоне 145 МГц из дома или офиса.

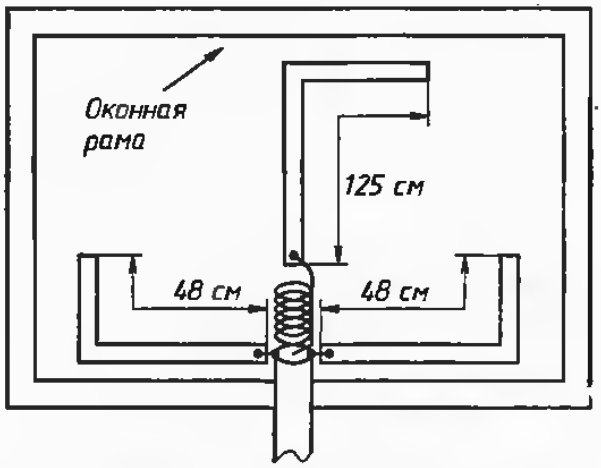


Рис. 17.18. Оконная 5/8-волновая УКВ антенна

17.12. Эффективная антенна переносной радиостанции

В том случае, когда связь с использованием стандартной «резинки» невозможна, можно использовать полуволновую антенну концевого питания. Она не требует для своей работы «земли» и при работе на большие расстояния может дать выигрыш по сравнению со стандартной «резинкой» до 10 дБ в условиях города. Это вполне реальные цифры, учитывая, что физическая длина полуволновой антенны может быть почти в 10 раз длиннее «резинки».

Полуволновая антенна концевого питания питается напряжением и имеет высокое входное сопротивление, которое может достигать 1000 Ом. Следовательно, эта антенна требует согласующего устройства при использовании совместно с радиостанцией, имеющей 50-омный выход. Один из вариантов согласующего устройства на основе П-контура уже был описан в этой главе. Поэтому мы рассмотрим использование другого согласующего устройства, выполненного на параллельном контуре. По эффективности своей работы эти согласующие устройства примерно равны. Схема полуволновой УКВ антенны совместно с согласующим устройством на параллельном контуре показана на рис. 17.19.

Катушка контура содержит 5 витков медного посеребренного провода диаметром 0,8 мм, намотанных на оправке диаметром 7 мм по длине 8 мм. Настройка согласующего устройства заключается в настройке с помощью переменного конденсатора *C1* контура *L1C1* в резонанс. Связь контура с выходом передатчика регулируется с помощью переменного конденсатора C2, первоначально конденсатор подключается в третьему витку катушки от ее заземленного конца. Переменные конденсаторы *C1* и *C2* должны быть с воздушным диэлектриком.

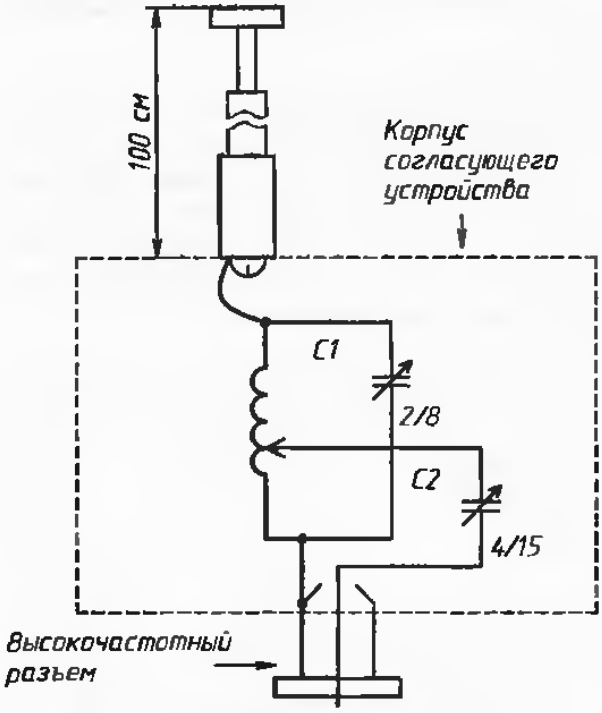


Рис. 17.19. Полуволновая УКВ антенна с согласующим устройством

Для излучателя полуволновой антенны целесообразно использовать телескопическую антенну. Это даст возможность переносить полуволновую антенну в компактном сложенном состоянии. Также это упрощает настройку антенны совместно с реальным трансивером. В начале настройки антенны длина излучателя составляет 100 см. Настройка антенны производится с помощью индикатора напряженности поля. С помощью КСВ-метра настройка антенны целесообразна лишь в случае ее работы не на корпусе радиостанции, а при использовании совместно с ней удлиняющего коаксиального кабеля. В процессе настройки эта длина может быть немного скорректирована по более эффективной работе антенны. Желательно сделать соответствующие отметки на антенне, чтобы впоследствии со свернутого ее положения устанавливать антенну сразу на необходимую длину. Коробка, где расположено согласующее устройство, была выполнена из пластика, чтобы уменьшить емкость катушки на «землю».

При двойной работе антенны на корпусе радиостанции и с использованием удлиняющего коаксиального кабеля на штыре антенны делают две отметки, одна соответствует максимальному уровню напряженности поля при работе антенны нв корпусе радиостанции, а другая — соответствует минимальному КСВ при использовании совместно с антенной удлиняющего коаксиального кабеля. Обычно эти две отметки немного не совпадают.

17.13. Вертикальные неразрывные антенны с гамма-согласованием

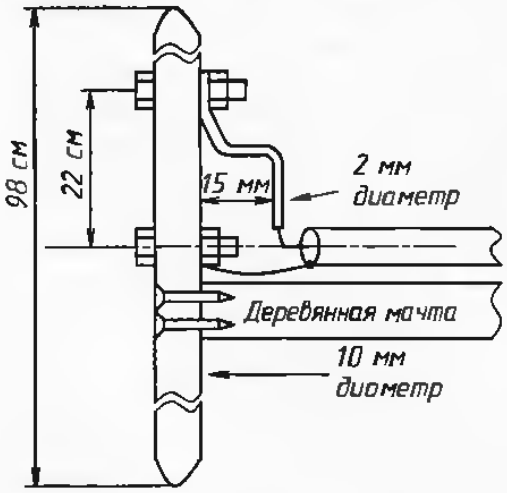


Рис. 17.20. Неразрывная полуволновая УКВ антенна

Вертикальные антенны, выполненные из целого вибратора ветроустойчивы, легки в установке и занимают мало места. Для их выполнения можно использовать медные трубки, алюминиевый силовой электрический провод диаметром 6—20 мм. Эти антенны достаточно просто можно согласовать с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением как 50, так и 75 Ом.

Очень простой в выполнении и легкой в настройке является неразрывная полуволновая УКВ антенна, конструкция которой показана рис. 17.20. Для ее питания через коаксиальный кабель используется гамма-согласование. Материал, из которого выполнен вибратор антенны и гамма-согласование, должен быть один и тот же, например медь или алюминий. Из-за взаимной электрохи-

мической коррозии многих пар материалов недопустимо использоввть разные металлы для выполнения антенны и гамма-согласования.

Если для выполнения антенны использована медная голая трубка, то настраивать гамма-согласование антенны целесообразно с помощью замыкающей перемычки, как показано на рис. 17.21. В этом случае поверхность штыря и проводника гамма-согласования тщательно зачищается и с помощью хомута из голой проволоки, как показано на рис. 17.21,а, добиваются минимального КСВ в коаксиальном кабеле питания антенны. Затем в этом месте провод гамма-согласования немного расплющивается, просверливается и соединяется винтом с полотном антенны, как показано на рис. 17.21,б. Возможно также использовать пайку.

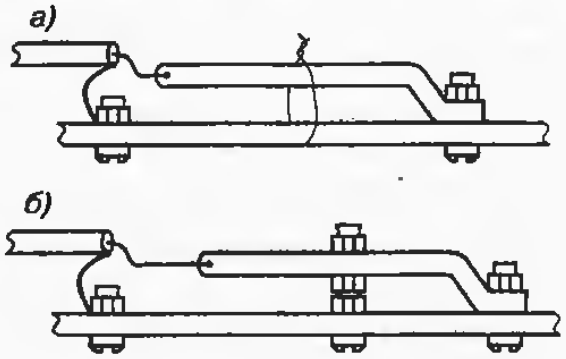


Рис. 17.21. Настройка гамма-согласования медной антенны

Если для антенны использован алюминиевый провод из силового электрического кабеля в пластиковой изоляции, то целесообразно эту изоляцию оставить для предотвращения коррозии алюминиевого провода кислотными дождями, которые неизбежны в городских условиях. В этом случае гамма-согласование антенны подстраивается с помощью переменного конденсатора, как показано на рис. 17.22. Переменный конденсатор необходимо защитить от воздействия атмосферных условий, если антенна будет работать на открытом воздухе. Если не удается достичь КСВ в кабеле меньше 1,5, то длину гамма-согласования необходимо уменьшить и повторить настройку еще раз.

Рис. 17.22. Настройка гамма-согласования алюминиевой медной антенны

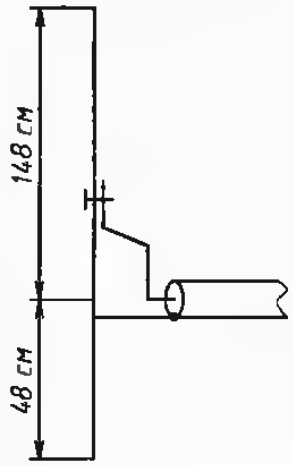


Рис. 17.23. Неразрывная вертикальная волновая УКВ антенна

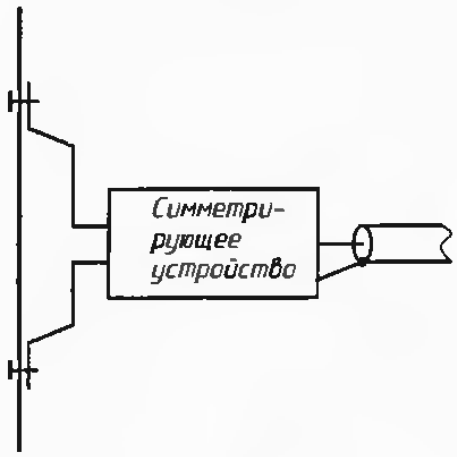


Рис. 17.24. Подключение симметрирующего устройства к неразрывной антенне

При наличии достаточного места и материалов можно установить неразрывную вертикальную волновую УКВ антенну. Волновая антенна работает эффек-

тивнее полуволновой антенны, показанной на рис. 17.20. Волновая антенна обеспечивает более прижатую к горизонту диаграмму направленности, чем полуволновая антенна. Согласовать аолновую антенну можно с помощью способов, показанных на рис. 17.21 и 17.22. Конструкция волновой антенны показана на рис. 17.23.

При выполнении этих антенн желательно, чтобы коаксиальный кабель питания был перпендикулярен антенне хотя бы на длине 2 м. Использование симметрирующего устройства совместно с неразрывной антенной увеличит эффективность ее работы. При использовании симметрирующего устройства необходимо использовать симметричное гамма-согласование. Подключенив симметрирующего устройства к антенне показано на рис. 17.24.

В качестве симметрирующего устройства антенны, которое работает на диапазоне 144 МГц, можно использовать любое известнов симметрирующее устройство. При размещении антенны около проводящих предметов, возможно, придется несколько уменьшить длину антенны из-за их влияния.

17.14. Круглая УКВ антенна

Если размещение в пространстве вертикальных антенн, показанных на рис. 17.20 и рис. 17.23, в их традиционном вертикальном положении затруднено, то можно их разместить, свернув полотно антенны в круг. Положение полуволновой антенны, показанной на рис. 17.20, в «круглом» варианте показано на рис. 17.25, а волновой антенны, показанной на рис. 17.23, — на рис. 17.26. В таком положении антенна обеспечивает комбинированную поляризацию — вертикальную и горизонтальную, что благоприятно для проведения связей с передаижными и носимыми радиостанциями. Хотя теоретически уровень вертикальной поляризации будет выше при боковом питании круглых УКВ антенн, но на практике это различие не сильно заметно, а боковое питание антенны усложняет ее установку. Боковое питание круглой антенны показано на рис. 17.27.

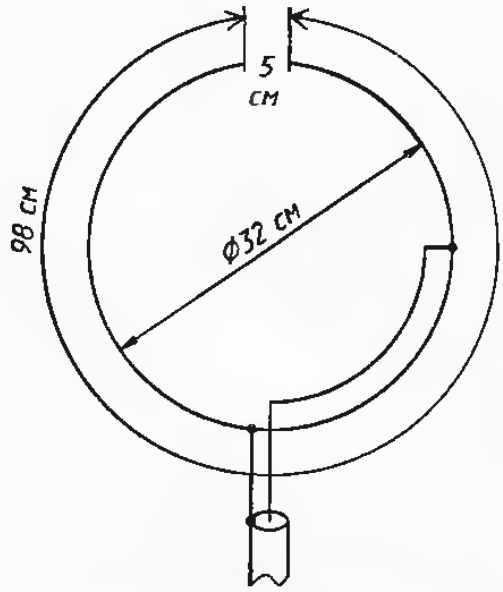


Рис. 17.25. Неразрывная круглая вертикальная полуволновая УКВ антенна

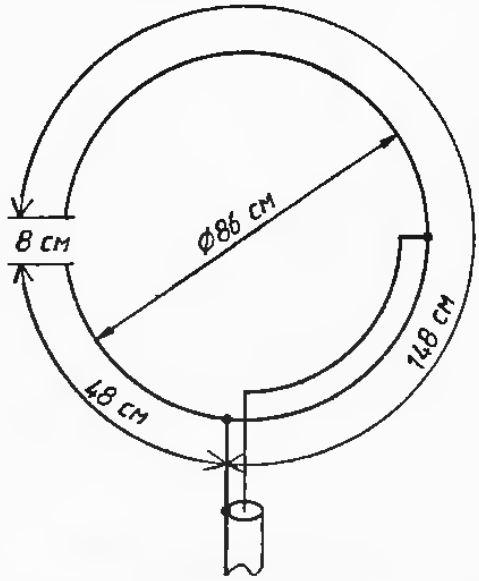


Рис. 17.26. Неразрывная круглая вертикальная волновая УКВ антенна

Круглая УКВ антенна может быть размещена внутри помещения, например между рамами окна или вне помещения, на балконе или на крыше. При размещении круглой антенны в горизонтальной плоскости получим круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и работу антенны с горизонтальной поляризацией. Это может быть необходимо в некоторых случаях при проведении радиолюбительских связей.

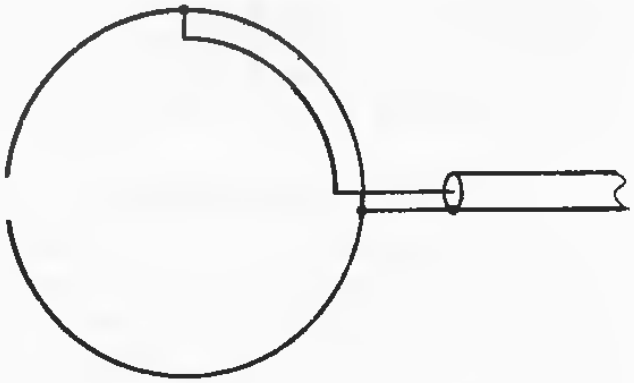


Рис. 17.27. Боковое питание круглых УКВ антенн

17.15. Пассивный «усилитель» переносной станции

При испытании переносных радиостанций или работе с ними порой не хватает еще «чуть-чуть» мощности для надежной связи. Мной был выполнен пассивный «усилитель» для переносных УКВ станций. Пассивный «усилитель» может добавить до 2—3 дБ к сигналу радиостанции в эфире. Этого часто достаточно, чтобы надежно открыть шумоподавитель станции корреспондента и обеспечить уверенную работу. Конструкция пассивного «усилителя» в разрезе показана на рис. 17.28.

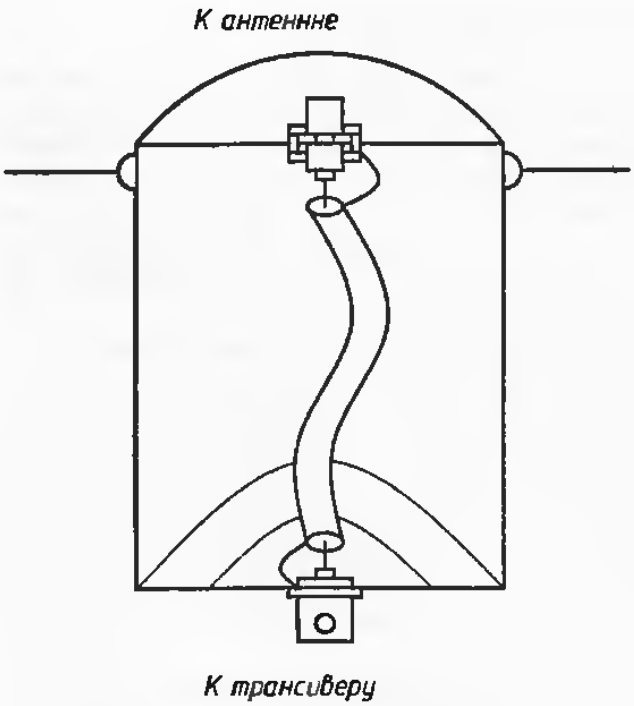


Рис. 17.28. Пассивный «усилитель»

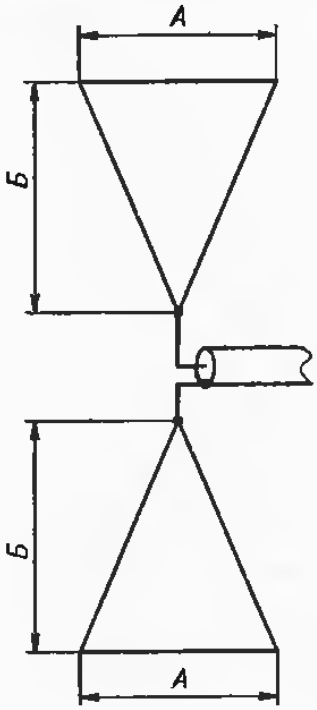


Рис. 17.29. Широкополосный УКВ вибратор

Пассивный «усилитель» представляет собой луженую жестяную банку из-под кофе достаточно больших размеров (чем больше, тем лучше). В дно банки вставлен разъем, аналогичный антенному разъему радиостанции, а в крышку банки запаян разъем для соединения с антенным гнездом. К банке припаяны 4 противовеса длиной 48 см. При работе с радиостанцией этот «усилитель» включается между

штатной антенной и радиостанцией. За счет более эффективной «земли» и происходит увеличение в месте приема силы излучаемого сигнала. Совместно с этим «усилителем» можно использовать и другие антенны, например λ/4 штырь из медной проволоки, просто вставленный в антеннов гнездо.

17.16. Широкополосная обзорная антенна

Таблица 17.1

Размеры широкополосной УКВ антенны для разных диапазонов

Диапазон,МГц	130...150	140...160
Размер А, см	26	24
Размер Б, см	54	47

Многие импортные переносные радиостанции обеспечивают работу на прием не только в любительском диапазоне 145 МГц, но и в обзорных диапазонах 130...150 МГц или 140...160 МГц. В этом случае для успешного приема в обзорных диапазонах, на которых витая антенна, настроенная на 145 МГц, работает неэффективно, можно использовать широкополосную УКВ антенну. Схема антенны приведена на рис. 17.29, а размеры для разных диапазонов работы даны в табл. 17.1.

Для работы с антенной можно использовать коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Полотно антенны может быть выполнено из фольги и наклеено на окно. Можно выполнить полотно антенны из алюминиевого листа или печатным способом на куске фольгированного стеклотекстолита подходящих размеров. Антенна может работать на прием и на передачу в указанных диапазонах частот с высокой эффективностью.

17.17. Зигзагообразная антенна

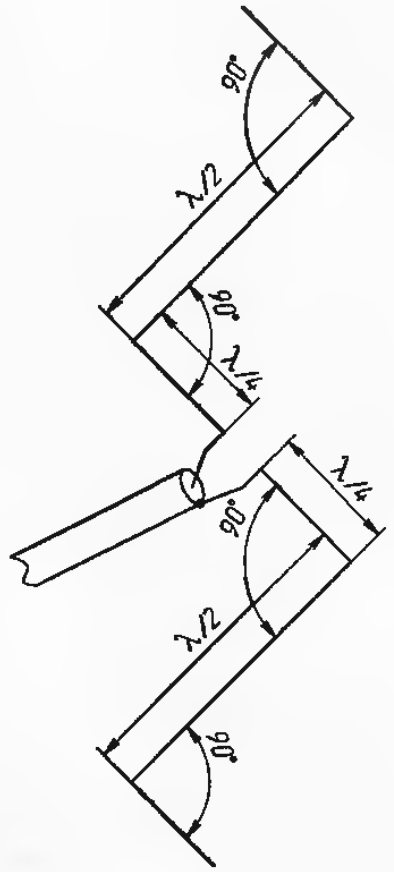


Рис. 17.30. Элементарная зигзагообразная антенна

В некоторых служебных УКВ радиостанциях дальней связи используются антенные решетки, состоящие из зигзагообразных антенн. Радиолюбители тоже могут попробовать использовать элементы такой антенной системы для своей работы. Вид элементарной зигзагообразной антенны, входящей в конструкцию сложной УКВ антенны, показан на рис. 17.30.

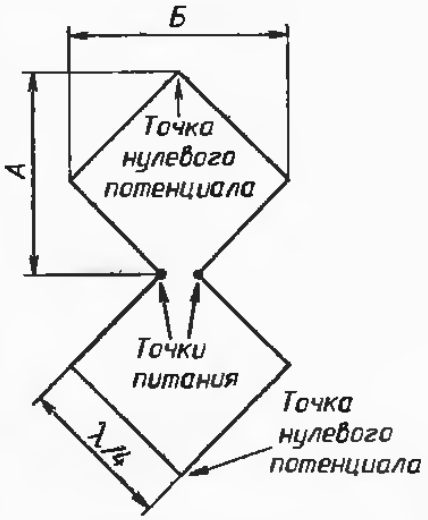
Зигзагообразная элементарная антенна состоит из полуволновой дипольной антенны, которая питает напряжением полуволновые вибраторы. В реальных антеннах используются до пяти таких полуволновых вибратора. Антенна имеет узкую, прижатую к горизонту диаграмму направленности. Вид поляризации — вертикальный и горизонтальный. Для работы антенны желательно использовать симметрирующее устройство.

В антеннах, используемых в служебных станциях связи, и за элементарными зигзагообразными антеннами обычно помещают рефлектор, выполненный из металлической сетки. Рефлектор обеспечивает одностороннюю направленность антенны. В зависимости от числа вибраторов, включенных в антенну, и количества включенных вместе зигзагообразных антенн можно получить необходимый коэффициент усиления антенны.

Радиолюбители практически не используют такие антенны, хотя их несложно выполнить для любительских УКВ диапазонов 145 и 430 МГц. Для изготовления полотна антенны можно использовать алюминиевый провод диаметром 4—12 мм от силового электрического кабеля. В отечественной литературе описание подобной антенны, для полотна которой был использован жесткий коаксиальный кабель, было приведено в литературе [4].

17.18. Антенна Харченко в диапазоне 145 МГц

Антенна Харченко [5] широко используется в России для приема телевидения. На некоторых служебных радиостанциях эту антенну используют для работы как на прием, так и на передачу. Может быть использована эта антенна и радиолюбителями для работы на диапазоне 145 МГц. Антенна Харченко является одной из немногих антенн, которая работает весьма эффективно и при выполнении точно по размерам не требует настройки. Схема антенны Харченко показана на рис. 17.31. Она имеет диаграмму направленности в форме восьмерки, с шириной лепестка диаграммы направленности (по уровню половинной мощности) в вертикальной и горизонтальной плоскости близкой к 60°. Антенна Харченко обеспечивает усиление чуть больше чем 6 dBi. При использовании для полотна антенны трубки диаметром 8-мм и более или металлической ленты шириной 10-мм и более эта антенна будет работать с КСВ не более 1,5 в полосе частот не менее 10 МГц на диапазоне 145 МГц.



*Все стороны антенны длиной λ/4
**Расстояние между точками питания антенны для диапазона 145 МГц равно 10-20 мм
***Соотношение А/В равно 1,4-1,45

Рис. 17.31. Антенна Харченко

Антенну Харченко можно упрощенно представить как две параллельно соединенные рамочные антенны, каждая из которых имеет длину полотна, равную λ. Сопротивление каждой из этих антенн равно примерно 117 Ом. При параллельном соединении двух таких антенн их общее входное сопротивление будет равно примерно 60 Ом. Это позволяет использовать для питания антенна Харченко как 50, так и 75-омный коаксиальный кабель. Конечно, строгий теоретический анализ работы антенны Харченко более сложен, чем упрощенное описание, которое представлено здесь.

Для создания односторонней диаграммы направленности используют сзади антенны металлический экран (рефлектор), расположенный на расстоянии (0,17—0,22) λ. Ширина рефлектора должна составлять не менее 0,52 λ, высота рефлектора равна высоте антенны. Рефлектор можно выполнить в виде одиночных вибраторов длиной 0,52λ, расположенных на расстоянии друг от друга не менее 0,1λ. Использование рефлектора позволяет устанавливать антенну перед стеной дома, на которой, в свою очередь, и установлен рефлектор. При использовании коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом используют меньшее расстояние между антенной и рефлектором, а при использовании коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом — большее расстояние. Направленная антенна Харченко показана на рис. 17.32.

Антенна Харченко с одним рефлектором может обеспечить коэффициент усиления более 9 dBi. Это одна из оптимальных антенн, которые может построить радиолюбитель для работы на 145 МГц. Соотношение «коэффициент усиления/затраты» для этой антенны являются оптимальными. Отношение излучения вперед/назад во многом зависит от качества изготовления рефлектора. Однако даже с простым про-

волочным рефлектором, составленным из вибраторов, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,1λ, вполне можно ожидать, что это соотношение составит около 20 дБ. Ширина диаграммы направленности рефлекторной антенны (по половинной мощности) может быть в пределах 30°. Для еще большего сужения диаграммы направленности используют пассивные элементы в виде вибраторов длиной 0,45 λ, расположенных на расстоянии 0,2λ от диагонали квадрата рамок. Для создания узкой диаграммы направленности и увеличения коэффициента усиления антенной системы используют несколько объединенных антенн.

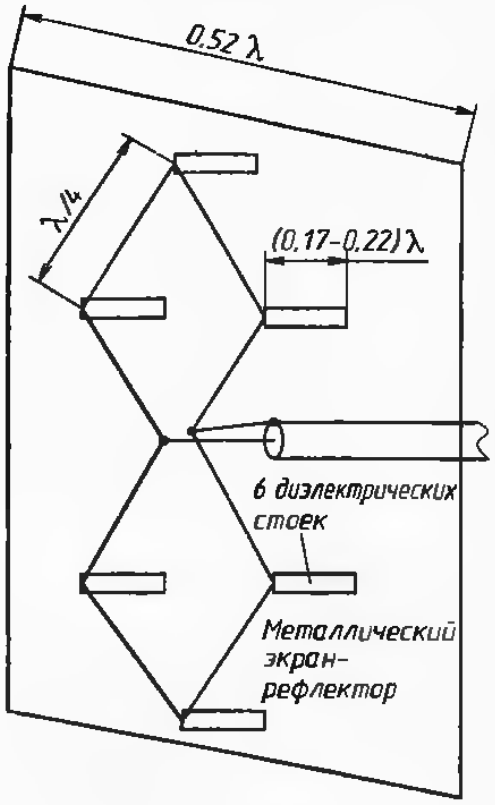


Рис. 17.32. Направленная антенна Харченко

При использовании антенны Харченко в качестве передающей, серьезное внимание необходимо уделить правильному выполнению ее питания. Наиболее просто выполнить правильно питание можно для рефлекторной антенны. Эту антенну и можно рекомендовать для повторения радиолюбителям. В этом случае фидер питания подходит к антенне под прямым углом со стороны рефлектора, как это показано на рис. 17.32. За рефлектором коаксиальный кабель может идти любым способом. Антенна Харченко является симметричной антенной. Поэтому для ее питания необходимо использовать любое известное симметрирующее устройство.

Простое симметрирующее устройство, хорошо работающее совместно с этой антенной, показано на рис. 17.33. Для его выполнения берется высокочастотный разъем достаточно больших размеров, к нему припаивается кусок коаксиального кабеля длиной, большей на 2 см, чем λ/4. На этот кабель в нескольких местах наматывают несколько витков кембрика для фиксации кабеля в трубке. На коаксиальный кабель с кембриками надевается медная трубка, диаметр трубки не критичен. Расстояние в 3...5 мм между стенками трубки и коаксиальным кабелем будет достаточно. Трубка припаивается к разъему. Симметрирующее устройство готово. Открытый конец симметрирующего устройства герметизируют при помощи автомобильной эпоксидки. Мной было выполнено несколько согласующих устройств с использованием отрезков волноводов и корпусов полосовых фильтров СВЧ, выполненных в медных трубах. Если радиолюбитель может приобрести эти изделия, то процесс изготовления симметрирующего устройства для него значительно упростится.

Вместо симметрирующего устройства вполне можно использовать высокочастотный запорный дроссель на конце фидера антенны. Этот дроссель представляет собой 10—20 ферритовых колец, туго надетых на коаксиальный кабель. Проницаемость этих колец не имеет значения.

Обратите внимание, что при построении передающей антенны Харченко полотно антенны в ее вершине и внизу (точка нулевого потенциала на рис. 17.31) нежелательно электрически соединять с рефлектором антенны или металлической мачтой. Теоретически, конечно, там существует нулевой потенциал и заземление этих точек никак не должно сказаться на работе антенны. Но практически, при некоторых ошибках, допущенных при выполнении антенны и ее питания, точки нулевого потенциала могут сместиться и заземление вершин ромбов приведет к ухудшению работы антенны.

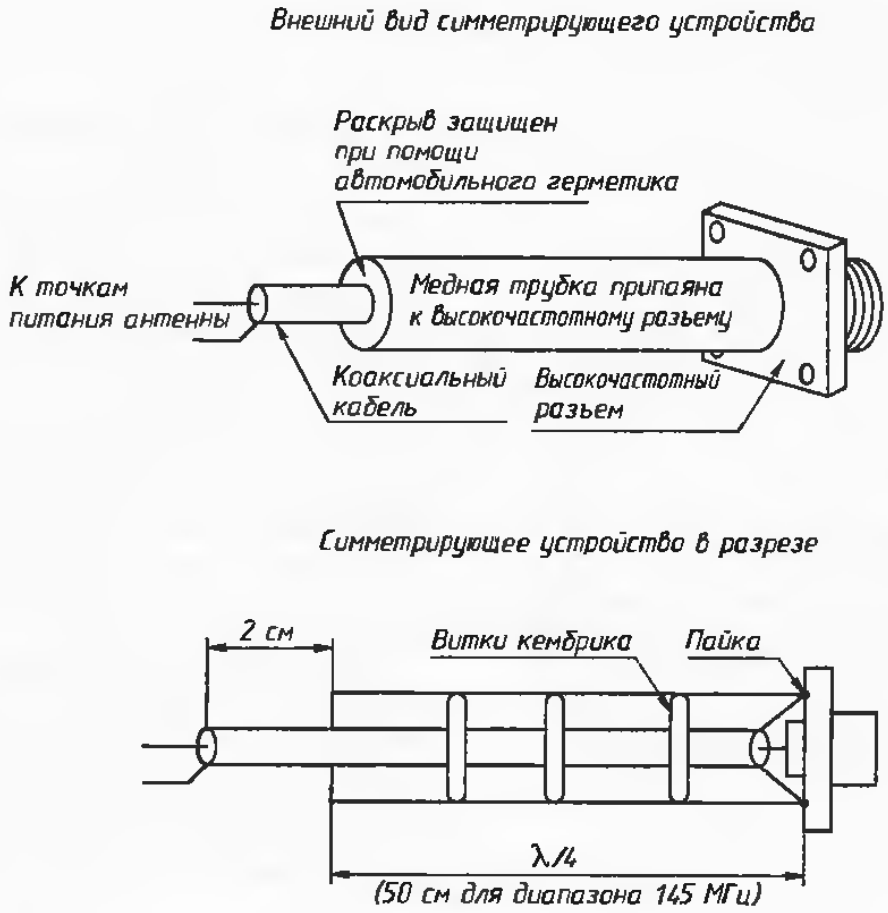


Рис. 17.33. Конструкция симметрирующего устройства

17.19. Рамочные направленные антенны для диапазона 145 МГц

Одними из наиболее популярных направленных антенн для работы в диапазоне 145 МГц являются рамочные антенны. Наиболее распространены для диапазона 145 МГц двухэлементные рамочные антенны. В этом случае получается оптимальное соотношение «затраты/качество». Схема даухэлементной рамочной антенны, а также размеры периметра рефлектора и активного элемента показаны на рис. 17.34.

Элементы антенны могут быть выполнены не только в виде квадрата, но и в виде круга, дельты. Для увеличения излучения вертикальной составляющей антенна может быть запитана сбоку. Входное сопротивление деухэлементной антенны близко к 60 Ом, и для работы с ней подходит как 50-омный, так и 75-омный коаксиальный кабель. Коэффициент усиления деухэлементной рамочной УКВ антенны составляет не менее 5 дБ (над диполем), и отношение излучения а прямом и обратном направлении может достигать 20 дБ. При ра-

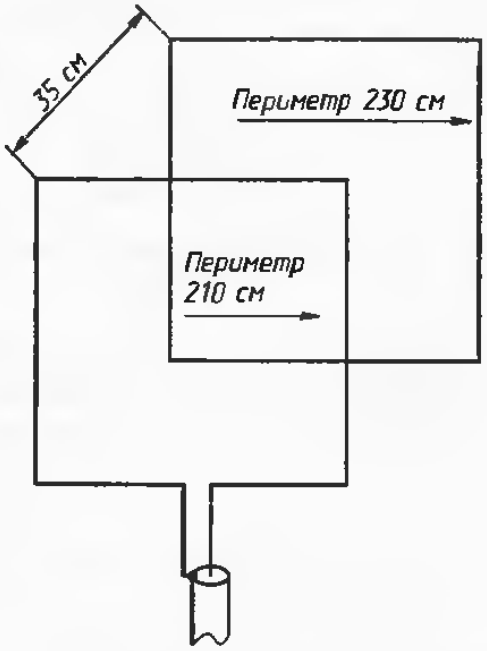


Рис. 17.34. Рамочная УКВ антенна

боте с этой антенной полезно использовать симметрирующее устройство, описанное в разделе 17.18 или в разделе 17.20..

17.20. Рамочная антенна с круговой поляризацией

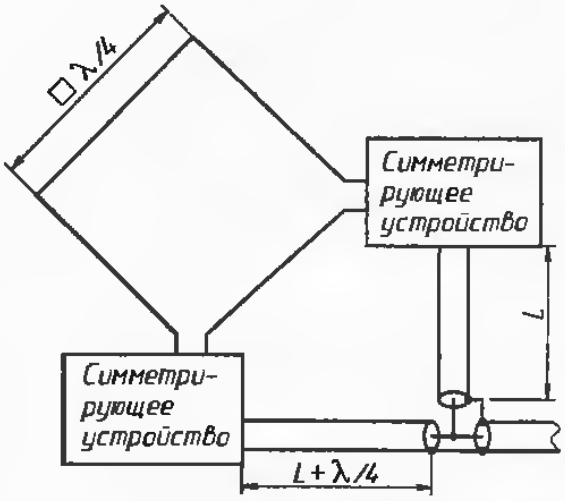


Рис. 17.35. Рамочная антенна с круговой поляризацией

Интересная конструкция рамочной антенны с круговой поляризацией была предложена в литературе [5]. Антенну, имеющую круговую поляризацию, используют для связи через ИСЗ. Двойное питание рамочной антенны со сдвигом фаз 90° позволяет синтезировать радиоволну, имеющую круговую поляризацию. Схема питания рамочной антенны показана на рис. 17.35. При конструировании антенны необходимо учитывать, что длина *L* может быть любой разумной, а длина λ/4 должна соответствовать длине волны в кабеле.

Для увеличения коэффициента усиления эту антенну можно использовать совместно с рамочными рефлектором и директором. Рамку необходимо питать только через симметрирующее устройство. Простейшее симметрирующее устройство показано на рис. 17.36.

17.21. Промышленные антенны для диапазона 145 МГц

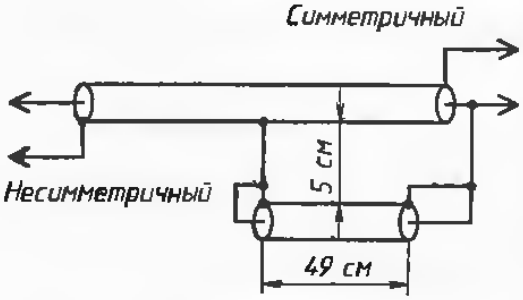


Рис. 17.36. Простейшее симметрирующее устройство

В настоящее время в продаже можно найти большой выбор фирменных антенн для диапазона 145 МГц. При наличии денег, конечно, можно покупать любую из этих антенн. Следует учесть, что желательно приобретать цельные антенны, уже настроенные на диапазон 145 МГц. Антенна должна иметь защитное покрытие, предохраняющее ее от коррозии кислотными дождями, которые могут выпадать в современном городе. Телескопические антенны в условиях эксплуатации города ненадежны и со временем могут выйти из строя.

При сборке антенн необходимо строго соблюдать все указания в инструкции по сборке и не жалеть силиконовую смазку для гидроизоляции разъемов, телескопических соединений и винтовых соединений в согласующих устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. (RK3ZK). Согласующие устройства диапазона 144 МГц // Радиолюбитель КВ и УКВ. — 1997. — № 12. — С. 29.

2. Barry Bootle. (W9YCW) Hairpin Match for the Collinear — Coaxial Arrau // QST. — 1984. October. — P. 39.

3. Doug DeMaw (W1FB) Build Your Own 5/8-Wave Antenna for 146 MHz // QST. 1979. June. — P. 15—16.

4. Бунин С. Антенна для связи через ИСЗ // Радио, 1985. — № 12. — С. 20.
5. Харченко К. УКВ антенны. — М.: «ДОСААФ», 1969.
6. D. S. Robertson, VK5RN The «Quadraquad» — Circular Polarization the Easy Way // QST. — April. — 1984. — P. 16—18.

18. ПОЛУВОЛНОВЫЕ АНТЕННЫ С РЕЗОНАТОРНЫМ ПИТАНИЕМ

Антенна с резонаторным питанием, или J-антенна, появилась в мире в середине 20-х годов XX века. Первоначально она использовалась в Германии для работы на коротких волнах с дирижаблей и самолетов. Примерно до 50-х годов J-антенна еще использовалась в профессиональной радиосвязи. В наше время эта антенна используется только радиолюбителями. Радиолюбители разработали множество различных конструкций J-антенны, которые могут быть использованы как для полевой работы, так и для стационарных антенн. В этой главе мы рассмотрим наиболее используемые радиолюбителями J-антенны.

18.1. Простая J-антенна

Простая J-антенна с непосредственным подключением коаксиального кабеля к четвертьволновому резонатору показана на рис. 18.1. Как известно, классическая J-антенна имеет длину излучающей части *A*, равную λ/2. Эта часть представляет собой полуволновой вибратор. Входное сопротивление полуволнового вибратора с любого его конца высокое, и в зависимости от практической конструкции излучателя может составить около 1000 Ом в диапазоне 145 МГц. Для питания J-антенны используют подключение коаксиального кабеля к части четвертьволнового резонатора *B*. Полуволновая антенна с резонаторным питанием по своему внешнему виду напоминает латинскую букву «J», поэтому ее часто называют «J-антенна».

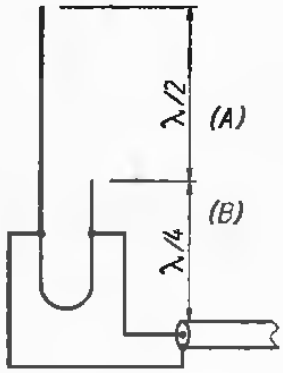


Рис. 18.1. J-антенна с непосредственным подключением коаксиального кабеля к четвертьволновому резонатору

Согласование высокого входного сопротивления полуволнового излучателя с относительно низким волновым сопротивлением коаксиального кабеля осуществляется с помощью четвертьволнового резонатора. Резонатор имеет высокое выходное сопротивление на своем конце, которое зависит от конструкции резонатора, и его нагрузки. Вдоль разонатора сопротивление уменьшается по синусоидальному закону, от мвксимального на его конце до нуля на дне резонатора. Это позволяет использовать для питания полуволновой антенны, подключенной к концу четвертьволнового резонатора, коаксиальный кабель с любым волновым сопротивлением 50 или 75 Ом.

Оптимальное волновое сопротивление двухпроводной линии, составляющей четвертьволновый резонатор, который питает J-антенну, находится в пределах 350...450 Ом. Для сохранения такого волнового сопротивления отношение между центрами проводов резонатора питания J-антенна и диаметром этих проводов должно лежать в пределах 15...25, как это показано на рис. 18.2.

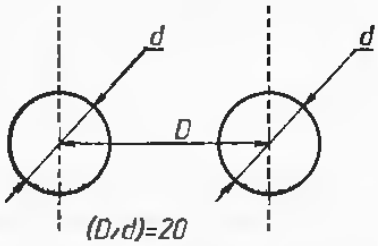


Рис. 18.2. Двухпроводная линия передачи

Провода, составляющие резонатор питания J-антенны, не должны «гулять» относительно друг друга. Зафиксировать эти провода можно при помощи са-

модельных распорок. Для распорок резонатора питания антенны удобно использовать пластиковые пробки от каких-либо пластиковых бутылок или пузырьков.

Четвертьволновый резонатор, обеспечивающий согласование полуволновой антенны с коаксиальным кабелем, часто выполняется из деухпроводной линии. Такое построение упрощает конструкцию антенны и облегчает ее наладку.

Это наиболее распространенный способ питания J-антенны. Он часто используется при построении стационарных J-антенн, выполненных из толстого проводе. На конце коаксиального кабвля должен быть установлен высокочастотный дроссель. Это необходимо для предотвращения излучения оплетки коаксиального кабеля и для устранения влияния оплетки коаксиального кабеля на работу четвертьволнового резонатора. Высокочастотный дроссель для диапазона 145 МГц может быть выполнен в виде катушки из коаксиального кабеля, содержащей 10—15 витков, намотанных на каркасе диаметром 20...50 мм, как показано на рис. 18.3,а. В настоящее время радиолюбители предпочитают использовать в качестве высокочастотного дросселя 10—20 ферритовых колец, недетых на коаксиальный кабель в месте питания J-антенны (рис. 18.3,б). Величина магнитной проницаемости ферритовых колец некритична.

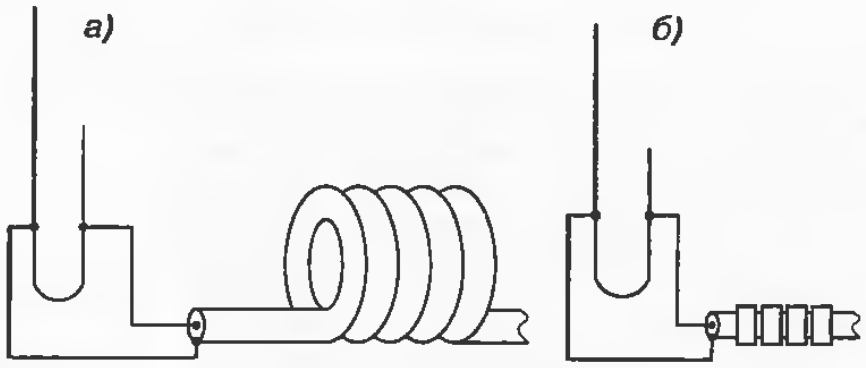


Рис. 18.3. Простой ВЧ дроссель

Недопустимо выполнять J-антенну из ферромагнитных (железных) проводников. Эффективность работы такой «железной» антенны на частотах УКВ диапазона 144 и 430 МГц является весьма низкой. В этом случае для УКВ передатчика резонатор J-антенны будет представлять собой вариант активной нагрузки. Антенна будет иметь превосходный низкий КСВ, но в то же врамя малую эффективность при излучении электромагнитных волн. В этой связи можно напомнить, что для многих профессиональных коротковолновых широкополосных антенн бегущей волны их активную нагрузку выполняют из даухпроводной линии, сделанной из железа.

J-антенна нетребовательна к условиям установки. Она может быть установлена на крыше дома с использованием деревянной или металлической мачты, в комнате в проеме окна, на балконе, если закрепить дно резонатора питания за перила, а верх антенны привязать к карнизу. Обратите внимание на использование как можно более качественного коаксиального кабеля для питания антенны. Коаксиальный кабель также должен иметь минимально возможную длину.

18.2. Настройка J-антенны

Подключение коаксиального кабеля к антенне во время настройки можно довольно просто произвести с помощью «крокодилов», как показано на рис. 18.4, и найти оптимальные точки подключения коаксиального кабеля. «Крокодилы» должны быть подключены непосредственно к оплетке коаксиального кабеля питания без использования дополнительных проводников.

Но на самом деле не все так лросто! Радиолюбители, которые выполняли J-антенны, знают, сколько труда и аремени требует определение точки подключения коаксиального кабеля к резонатору. Кажется, что антенна уже настроена и сдвиг точки подключения кабеля должен привести к улучшению КСВ антенны, а на практике происходит обратное! И снова приходится подбирать размеры антенны и резонатора питания.

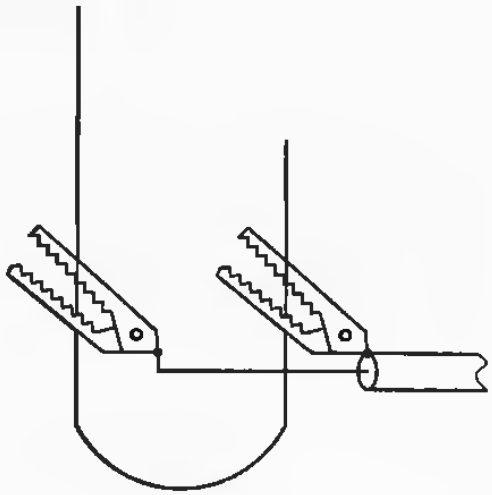


Рис. 18.4. Определение точек подключения коаксиального кабеля

Подключение коаксиального кабеля к четвертьволновому резонатору расстраивает последний относительно его пврвоначальной или расчетной частоты настройки. Это уменьшает эффективность работы J-антенны, приводит к уееличению КСВ в фидере питания. Для устранения этого явления необходимо проводить подстройку четвертьволнового резонвтора в резонанс на окончательном этапе настройки антенны. Что на практике вызывает определенные звтруднения. В итоге часто J-антенна имеет КСВ в фидере питания в пределах 1,5:1, хотя при тщательной настройке этой антенной системы реально достижим КСВ в фидере питания антенны 1,1:1.

На конце J-антенны, даже при мощности радиостанции 0,5 Вт, будет высокое напряжение, достаточное, чтобы вызвать ожог, поэтому необходимо принять меры по предотвращению случайного касания к концу антенны.

18.3. Размеры J-антенны

Можно использовать J-антенны длиной, кратной λ/2, λ, 1,5λ, 2λ. При экспериментальной проверке оказалось, что применение антенны длиной λ увеличивает силу сигнала ло сравнению с полуаолновой J-антенной на 1,5 дБ, а при использовании антенны длиной 1,5λ сила сигнала аыросла чуть более 2 дБ по сравнению с полуволновой антенной.

Сладует заметить, что диаграмма направленности вертикальной J-антенны, в которой используется удлиненный излучатель с размерами 1,5λ или 2λ, начинает «рассыпаться», появляются лепестки, направленные под большими углами к горизонту. Следоаательно, часть энергии, подводимой к антенне, излучается, в общем, бесполезно. Хотя, конечно, возможно и участие этих «верхних» лепесткоа в обеспечении любительской радиосвязи. Однако если есть возможность установить большую J-антенну с длинным (более λ/2) излучателем, используйте коллинеарные J-антенны, разговор о которых пойдет в сладующей главе.

В табл. 18.1 приведены длины вибратора для выполнения J-антенны с центральной резонансной частотой 145 МГц. Размеры указаны без учета коэффициента укорочения, который можно принять равным 0,93...0,9 для провода толщиной 1...2 мм и 0,84...0,87 для провода толщиной 3...5 мм.

Таблица 18.1

Длины вибратора J-антенны длиной λ/2, λ, 1,5λ, 2λ

λ/2	λ	1,5λ
1050 мм	2080 мм	3120 мм

Общая длина проводника, составляющего резонатор питания J-антенны, должна быть меньше длины λ/2 на несколько процентов. Для антенны с центральной частотой настройки 145 МГц эта длина может находиться в пределах 1000 мм.

18.4. Двухдиапазонная J-антенна

J-антенна может работать на третьей гармонике без переключения точек питания. Это означает, что J-антенна, настроенная для работы в диапазоне 144 МГц, будет работать на диапазоне 430 МГц, причем при переходв с диапазона на диапазон никаких переключений в конструкции антенны делать не нужно. Это делает J-антенну очень удобной при работе «oross band», которая необходима, например, при проаедении радиосвязи через некоторые радиолюбительские спутники. На рис. 18.5 показано распределение высокочастотного тока в J-антенне для частот диапазоноа 144 и 430 МГц.

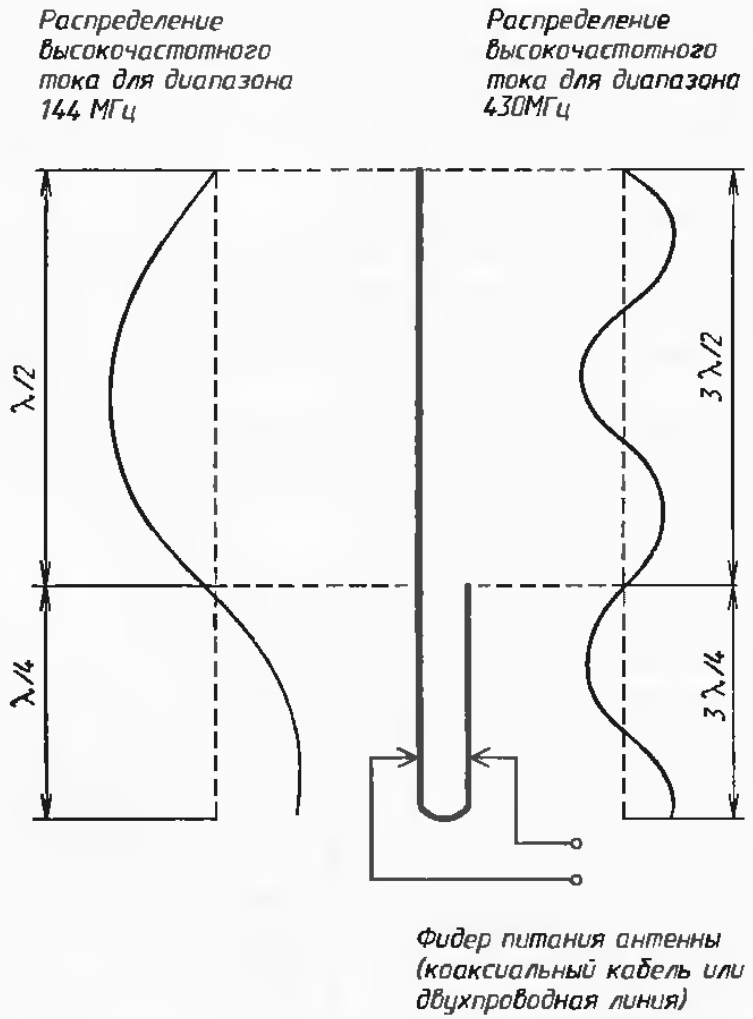


Рис. 18.5. J-антенна для работы на тратьей гармонике

Для использования J-антенны на ее третьей гармонике необходимо применять симметричное питание. Оптимальная настройка J-антенны на двух диапазонвх не совпадает, поэтому на одном из диапазонов работы КСВ антенны будет выше, чем на другом.

J-антенна, выполненная из ленточной двухпроводной линии, может не обеспечить двухдиапазонной работы. Это происходит вследствие того, что коэффициенты укорочения пластика, применяемого в двухпроводной линии, не рввны друг другу на частотах 144 и 430 МГц. Поэтому хорошо настроить такую антенну для двухдиапазонной работы трудно.

18.5. Направленная J-антенна

На основе J-антенн можно строить направленные антенны. В этом случае рефлектор и директор размещают около J-антенны, как показано на рис. 18.6, на традиционном для них расстоянии. В зависимости от длины полотна вктивной части J-антенны можно использовать полуволновые или волновые рефлектор и директор. Определение точек питания четвертьволнового резонатора для направленной J-антенны аналогично простой J-антенне. На конце коаксиального кабеля необходимо использовать высокочастотный дроссель.

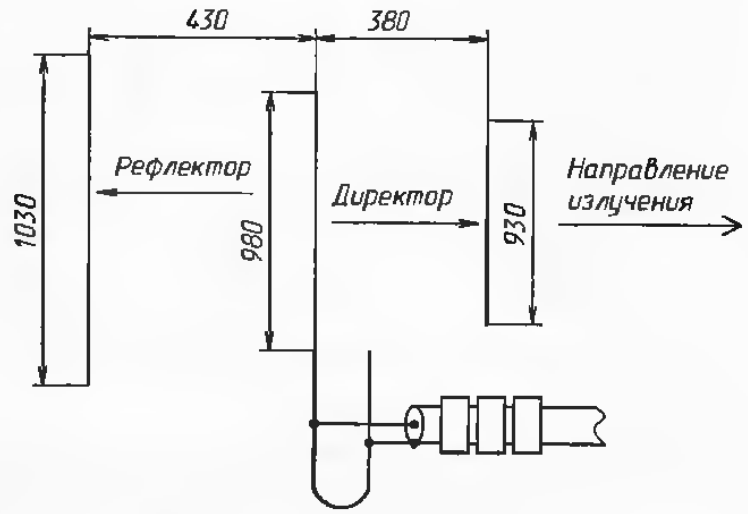


Рис. 18.6. Направленная J-антенна

18.6. Полевая J-антвнна с комбинированным питанием

Работа переносной радиостанции из удаленных мест совместно с комплектующей ее укороченной антенной часто недостаточно эффективна. В этом случае совместно с радиостанцией будет успешно работать полуволновая J-антенна, которая обеспечит дальность связи, в 3—4 раза большую по сравнению с короткой «резинкой».

Полевая J-антенна может быть выполненв из пластикового ленточного кабеля с волновым сопротивлением 300...450 Ом. При переносе (трвнспортировке) ленточная J-антенна может быть свернута и просто спрятана в карман. «Земля» четвертьволнового резонаторв припаяна к «землв» антенного разъема. Подключение выхода передатчика сопротивлением 50 Ом к четвертьволноаому резонатору выполнено на расстоянии 50...70 мм от «земли» разъема. Нерабочая жила из ленточного кабеля вытаскивается, в вершине кабеля делается отверстие, через которое привязывается лескв. С помощью этой лески внтенна может быть растянута в пространстве, подвешена к ветке, к карнизу и т.д. Схемв пвреносной J-антенны из ленточного кабеля показана на рис. 18.7.

J-антенну возможно подключать к трансиверу через коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, как это показано на рис. 18.7,б. Наличие ВЧ дросселя из ферритовых колец на конце фидера антенны желательно, но если антенна лредназначена для работы только из полевых условий, его можно не устанавливать.

При практическом выполнении антенны желательно использовать двухпроводную ленточную линию с волновым сопротиалением 450 Ом.

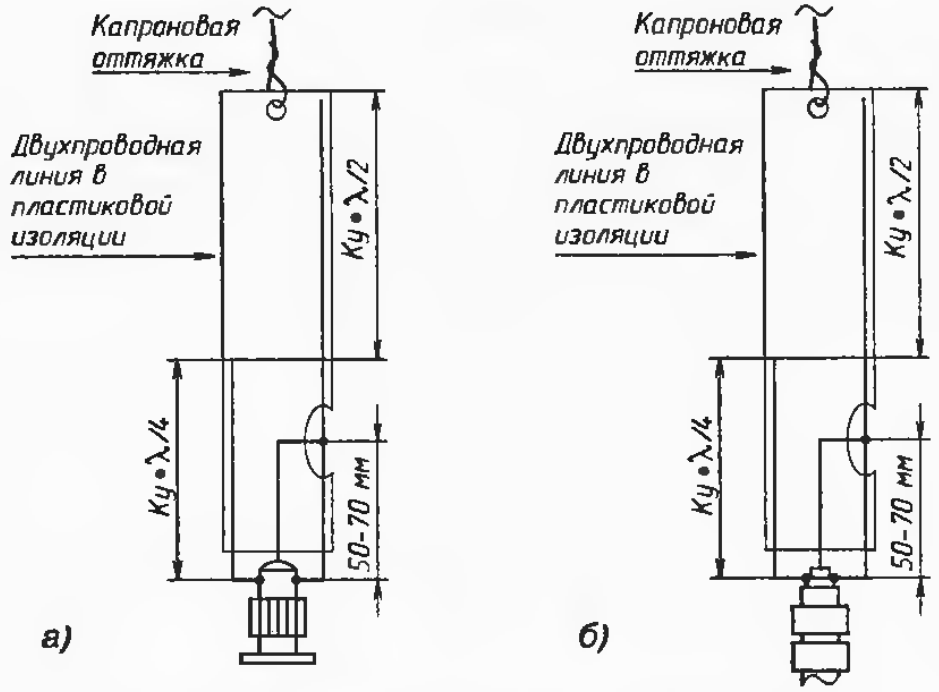


Рис. 18.7. Переносная J-антенна из ленточного кабеля

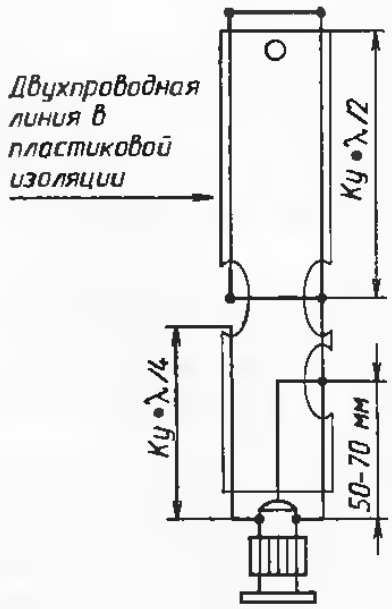


Рис. 18.8. Параллельное соединение проводников линии J-антенны

Следует отметить, что когда J-антенна выполняется из двухпроводной линии передачи в пластиковой изоляции, то четвертьволновый резонатор и вибратор должны иметь размеры с учетом коэффициента укорочения. Для излучателя антенны коэффициент укорочения может быть принят равным 0,86...0,9, а для четвертьволнового резонатора — 0,8...0,9. Вследствие того, что коэффициент укорочения точно неизвестен, вероятно, придется повозиться с настройкой J-антенны, выполненной из ленточного кабеля. Сначала настройки Ку для вибратора и резонатора питания принимают равным 0,9.Недопустимо остаалять вторую жилу кабеля свободной около основного полотна антенны, ве всегда необходимо удалять. В противном случае эффективность работы антенны значительно уменьшится. Возможно параллельное соадинение проводников линии J-антенны для вылолнения аибратора, как показано на рис. 18.8. В этом случае полоса пропускания антенны немного расширится, что упростит настройку антенны.

18.7. Ленточные J-антенны

Мной была аыполнена экспериментальная J -антенна из алюминиевой фольги, используемой для пищевых продуктоа. Эта антенна показала себя эффектианой в работе и несложной в настройке, что позволяет рекомендовать к повторению ее конструкцию, описанию которой будет посвящан следующий параграф.

Ленточная J-антенна была выполнена по размерам, приведенным на рис. 18.9. На широкую фольгу, предназначенную для приготовления пищи, была наклеена липкая лента типа «Скотч». Затем при помощи ножниц была вырезана антенна в соответствии с размерами, показанными на рис. 18.9. После этого полотно антенны было еще раз укреплено лентой типа «Скотч» в районе резонатора питания антенны.

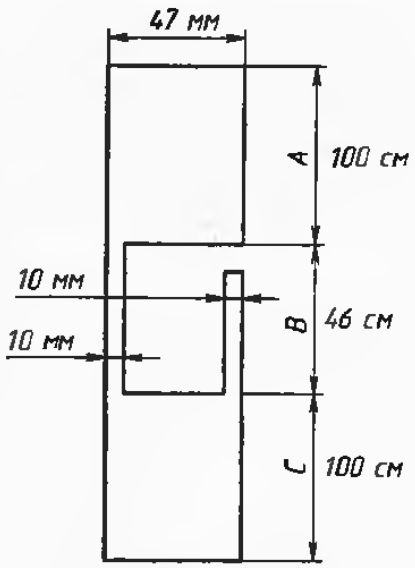


Рис. 18.9. Ленточная J-антенна

Секция *A* этой антенны длиной, равной 1 м, представляет собой излучатель J-антенны. Четвертьволновой резонатор, выполненный на секции *B*, изначально был взят с резонансной частотой немного большей необходимой. Это было сделано для того, чтобы впоследствии была возможность осуществить его настройку с помощью емкостной пластины. Часть *C* длиной, равной 1 м, представляет собой «землю» ленточной J-антенны. Хотя теоретически J-антенна вполне может работать без части *C*, следовательно без «земли», но ее наличие улучшает работу антенны. Изменение длины части *C* в процессе настройки позволяет в небольших пределах регулировать значение КСВ и в конечном итоге достигнуть малого значения КСВ в фидере питания антенны.

Как известно, для точного выполнения частей антенны *A*, *B*, *C*, необходимо знать их коэффициент укорочения. В известной мне литературе по антеннам коэффициент укорочения проводников антенны был приведен только для цилиндрического проводника, не для ленточной фольги. Мной был принят коэффициент укорочения ленточной антенны, условно равный 1. Поскольку ленточная антенна располагается в легко доступном месте, ее подстройка осуществляется очень просто: обрезанием части фольги вибратора. Следовательно, нет необходимости выполнять антенну точной длины с учетом коэффициента укорочения.

18.8. Питание ленточной J-антенны

При определении точек питания ленточной J-антенны я сначала пытался идти традиционным путем ее настройки, подключая коаксиальный кабель к четвертьволновому резонатору с помощью широких «крокодилов». Но через некоторое время экспериментов четвертьволновой резонатор антенны был окончательно испорчен «крокодилами», которые действительно «покусали» фольгу. Стоит в связи с этим заметить, что большие проблемы представляет и пайка алюминиевой фольги, которая понадобилась бы впоследствии для подключения коаксиального кабеля к четвертьволновому резонатору.

Через некоторое время я оставил попытки непосредственного подключения коаксиального кабеля к резонатору и решил применить индуктивную связь коаксиального кабеля с резонатором. Действительно, во многих частотно-разделительных УКВ фильтрах резонаторного типа, установленных в промышленных УКВ ретрансляторах, используется индуктивная связь с резонаторами. Почему бы и для ленточной J-антенны не применить ее!

Мной был проведен ряд экспериментов по нахождению оптимальных размеров петли связи коаксиального кабеля с четвертьволновым резонатором. Описание их проведения заняло бы большой объем, поэтому я привожу на рис. 18.10 готовую конструкцию петли связи. На коаксиальный кабель были надеты 10 ферритовых колец, которые представляли собой высокочастотный

дроссель. Этот дроссель препятствует изучению оплетки коаксиального кабеля. На практике это снижает КСВ в фидере антенны и облегчает согласоаание петли связи с четвертьволновым резонатором. Петля связи была закреплена внизу четвертьволнового согласующаго резонатора, как показано на рис. 18.11. Следует заметить, что расположение ковксиального кабеля питания перпендикулярно антенне, а не соосно, как это показано на рис. 18.11, приаедет к улучшению работы антенны.

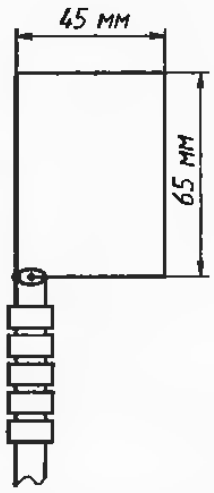


Рис. 18.10. Петля связи ленточной J-антенны

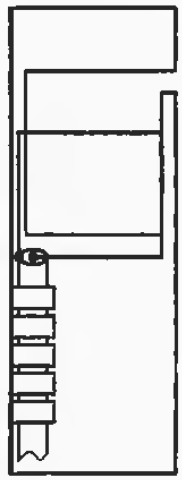


Рис. 18.11. Расположение петли связи ленточной J-антенны

Рис. 18.12. Укорочение вибреторе скатыванием

18.9. Настройка ленточной J-антенны

J-антенна из фольги, выполненная согласно рис. 18.9, была наклеена на стену комнаты. Первоначальная настройка антенны заключается в определении длины излучающего вибратора (часть антенны *А*). Для этого, измеряя КСВ в фидере антенны в месте лодключения коаксиального кабеля к передатчику и постепенно укорачивая вибратор антенны, добиваются минимального значения КСВ на частоте 145 МГц. Вибратор можно понемногу обрезать сверху острой бритвой, можно просто скатывать его верхний конец в рулон, как показано на рис. 18.12. С помощью укорочения вибратора (часть антенны *А*) достигают первоначального минимума КСВ в фидере антенны. Этот минимум КСВ может находиться лежать в пределах 2—3. Не нужно бояться такого высокого значения КСВ, нам нвобходимо достигнуть только его минимума.

Следующий этап настройки антенны — подстройка четвертьволнового резонатора в разонанс на частоту 145 МГц. С помощью кусочка фольги, наклеенного на скотч, производят подстройку резонатора. Фольга играет роль настроечного конденсатора резонатора. Чем ближе к вибратору антенны этот кусочек фольги, тем большую емкость он вносит в разонатор и тем ниже его частота настройки. Чем ближе к дну резонатора кусочек фольги, тем меньшую емкость он аносит в четвертьволновый резонатор и тем выше его частота настройки. Реально с помощью этого кусочка фольги можно менять частоту настройки резонатора в относительно широких пределах. На рис. 18.13 показан процесс настройки четвертьволнового резонатора.

Перемещением фольги вдоль резонатора добиваются минимума значения КСВ в фидере антенны. Это довольно легкая подстройка антенны, она не вызывает затруднений. Кусочек фольги двигают с помощью длинной диэлвктрической палки, на которую он первоначально прикреплен. Найдя точку положения настроечного кусочка фольги на резонаторе, соответствующего минимальному значению КСВ в фидере, с помощью скотча приклеивают этот кусочек фольги на этом месте резонатора.

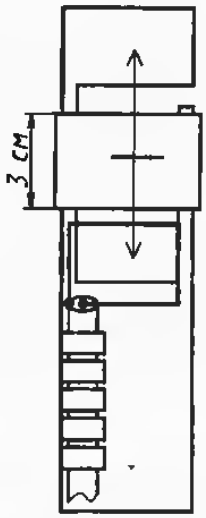


Рис. 18.13. Процесс настройки четвертьволнового резонатора

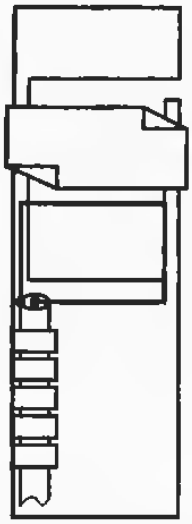


Рис. 18.14. Подстройка четвертьволнового резонатора

С помощью настройки четвертьволнового резонатора в резонанс легко удается достигнуть снижения КСВ а фидере антенны от первоначального значения 2—3 до значения, лежащего в пределах 1,5. Затем небольшим изгибанием уголков фольги, как показано на рис. 18.14, дельнейшим небольшим изменением длины вибратора антенны и изменением длины земляного вибратора *С* достигают дальнейшего снижения КСВ. В зааисимости от желания и упорства радиолюбителя легко можно достигнуть значения КСВ в фидере, лежащем в пределах 1,2:1. Может быть, для снижения КСВ придется немного изменить положение петли связи коаксиального кабеля с четвертьволновым резонатором или немного изменить ее размеры. Но это возможно лишь в том случае, если есть желание достигнуть значения КСВ в кабелв, практически близкого к 1:1.

После полной настройки антенны длина части *А* была равна 85 см, длина части *С* — 87 см. Настроечный кусочек фольги располагался на расстоянии 23 см от дна четвертьволнового резонатора. КСВ антенны был 1,2:1, полоса работы антенны при увеличении КСВ до 1,6:1 составляла от 142 до 146 МГц. Антенна обаспечивала превосходную работу, и значительно большую дальность связи по сравнению с штатной антенной УКВ радиостанции.

18.10. Работа ленточной J-антенны

Ленточная антенна может быть заклеена обоями, в этом случае она будет полностью невидима постороннему наблюдателю. Для работы совместно с этой антенной летлю связи можно располвгать в заранее обозначенном месте.

Антенна из фольги может располагаться на чердаке. Она там может быть просто подвешена за верхний конец вибратора. Антенна может быть использована и для работы в полевых условиях. В этом случае коаксиальный кабель может проходить вдоль «земляного» вибратора, а не перпендикулярно к нему. Если фольга антенны с обоих сторон будет обклеена скотчем, то антенна будет представлять собой механически прочную, защищенную от погодных воздействий конструкцию. В этом случае антенну можно использовать и под воздействием атмосферных условий. В конструкции J-антенны мной был использован коаксиальный квбель с волновым сопротивлением 50 Ом.

19. ПРОСТЫЕ КОЛЛИНЕАРНЫЕ J-АНТЕННЫ

В предыдущей глаае были расомотрены конструкции простых J-антенн. Если радиолюбитель осаоил их изготовление и настройку, то он может попробовать саои силы а установке коллинеарных J-антенн. Эти антенны весьма эффективны в работе. Их можно использовать как для связи в полевых условиях, например в походах, загородных местах отдыха, так и для стационарной работы.

Описанные в этой главе коллинеарные J-антенны являются оптимальными самодельными антеннами для дальней связи на 145 МГц. Антенны достаточно просты в изготовлении и обеспечивают эффективную работу даже при использовании совместно с простыми УКВ радиостанциями. Можно рекомендовать широко использовать эти антенны в практической работе радиолюбителя.

19.1. Конструкция коллинеарной J-антенны

Рассмотрим работу простой коллинеарной J-антенны, конструкция которой показана на рис. 19.1. Эта антенна состоит из трех вертикальных излучателей длиной $\lambda/2$. Питаются эти излучатели со сдвигом фаз равным 180°. Нижний излучатель представляет собой обычную полуволновую J-антенну. С помощью этой нижней полуволновой антенны происходит питание всех остальных секций коллинварной J-антенны.

Распрвделение высокочастотного напряжения в коллинварной J-антенне показано на рис. 19.1,а. Как видно из рисунка, три вертикальные секции коллинварной J-антенны длиной по $\lambda/2$ питаются высокочастотным напряжением через фазосдвигающие отрезки длиной $\lambda/2$. При сложении полей излучения этих полуеолновых вибраторов *1* общая диаграмма направленности J-антенны получается прижатой к поверхности земли в вертикальной плоскости. Антенна с такой диаграммой направленности прекрасно подходит для проведения дальних связей на диапазоне 144 МГц как при использовании поверхностной волны, распространяющейся вдоль поверхности земли в условиях прямой видимости, так и для проведения дальних связей при тропосферном распространении УКВ радиоволн. Фиаические размеры коллинеарной J-антенны при выполнении ее из проводника диаметром 1...4 мм показаны на рис. 19.1,б.

19.2. Питание коллинеарной J-антенны

Для питания коллинеарной J-антенны может быть использован любой фидер, как коаксиальный кабель, имеющий волновое сопротивление как 50, так и 75 Ом, так и двухпроводная линия с волновым сопротивлением 300...450 Ом. Расстояние для точек подключения коаксиального кабеля к резонатору J-антенны показаны на этом же рисунке. Это расстояние может быть немного изменено при конкретном выполнении коллинеарной J-антенны. Расстояние для точак подключения коаксиальной линии к четвертьволновому резонатору зааисит от материала, из которого выполнена антенна, от аысоты подвеса антвнны, от окружения антвнны посторонними предметами. Для проведения экспериментоа с коллинварной J-антенной подключение коаксиального кабеля к разонатору антенны удобно выполнить, как показано на рис. 19.2.

К четвертьволновому резонвтору J-антенны *1* через электротехнические соединители *2* подключен коаксиальный кабель питания внтенны *3*. На конец коаксиального кабеля надето 10 ферритовых колец. Они образуют высокочас-

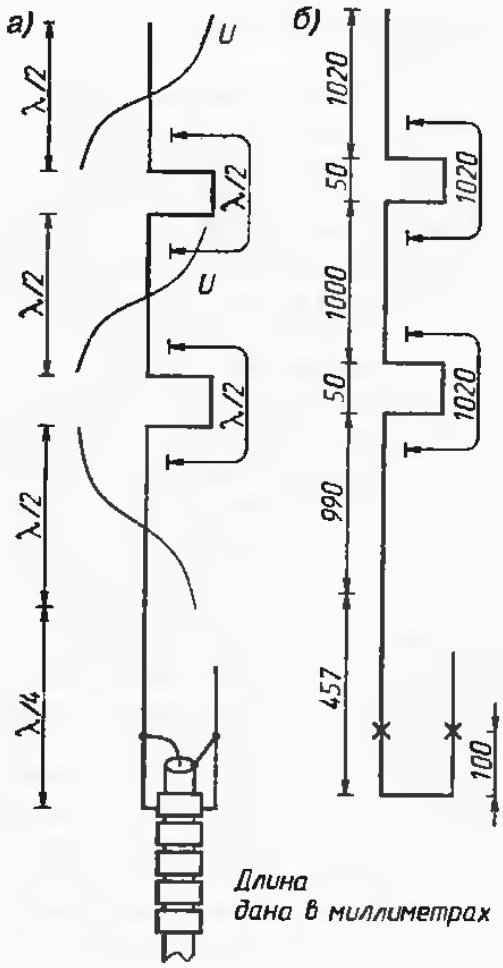


Рис. 19.1. Коллинеарная J-антенна

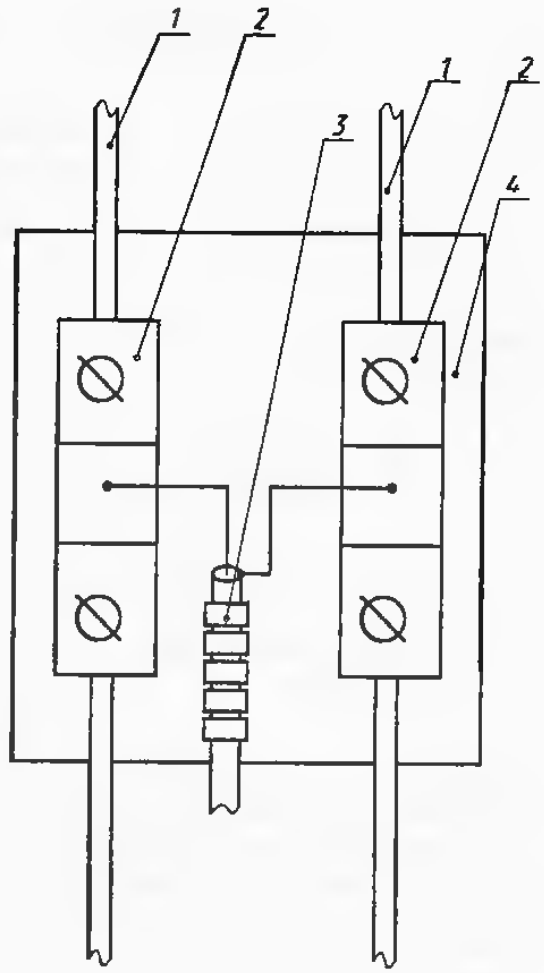


Рис. 19.2. Подключение коаксиального кабеля к коллинеарной J-антенне

тотный дроссель, который препятствует затеканию высокочастотных токов на внешнюю оболочку коаксиального кабеля. Можно использовать ферритовые кольца с любой магнитной проницаемостью, важно только, чтобы они туго обхватывали внешнюю оболочку коаксиального кабеля. Ферритовые кольца могут быть укреплены на коаксиальном кабеле с помощью изоленты. Без высокочастотного дросселя на конце коаксиального кабеля его оболочка может служить как излучающая антенна. Это может серьезно ухудшить диаграмму направленности J-антенны.

Электротехнические соединители и коаксиальный кабель укреплены на пластине из стеклотекстолита 4. Эта пластина придает жесткость конструкции четвертьволнового резонатора и фиксирует расстояние между проводниками четвертьволновой линии.

Для выполнения этой конструкции можно использовать практически любые электротехнические соединители. Желательно, чтобы проводники двухпроводной линии четвертьволнового резонатора плотно входили внутрь этих соединителей. Коаксиальный кабель желательно припаять к этим электротехническим соединителям. Поскольку они выпускаются покрытыми нержаавеющим составом, то для пайки необходимо использовать специальный флюс или специальную кислоту.

19.3. Настройка коллинеарной J-антенны

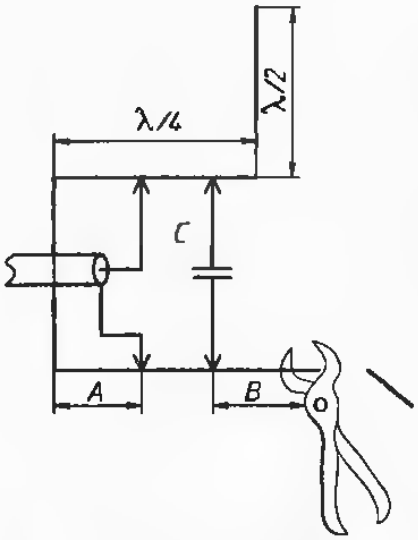


Рис. 19.3. Настройка резонаторе J-антенны

Для эффективной работы коллинеарной J-антенны желательна небольшая подстройка в резонанс как самой антенны, так и четвертьволнового резонатора. Для достижения КСВ в кабеле питания J-антенны, равного 1:1, необходим тщательный подбор точек питания антенны на этом резонаторе. Процесс настройки четвертьволнового резонатора в резонанс и подбор точек питания на нем локазан на рис. 19.3.

Рассмотрим более подробно этот процесс. При помощи подбора расстояния *А* от дна четвертьволнового резонатора до точек подключения коаксиального кабеля добиваются минимального КСВ в коаксиальном кабеле антенны. Эту настройку также можно осуществить с помощью измерителя напряженности поля по максимальному уроаню напряженности поля. После этого с помощью постоянного конденсатора небольшой емкости 1—3 пФ производят окончательную подстройку четвертьволнового разонатора в резонанс. Настройку в разонанс осуществляют изменением расстояния точек подключения этого конденсатора к резонатору, на рис. 19.3 это расстояние обозначено размером *В*. Первоначально этот конденсатор располагается около коаксиального кабеля.

Для успешной такой настройки длину четвертьволнового резонвтора выбирвют немного меньшей, чем четверть длины волны. Возможно, во время настройки антенны с помощью кусачек часть длины четвертьволнового резонатора придется «откусить», как показано на рис. 19.3.

Для перемещения конденсатора вдоль резонатора можно применить «салазки» из электротехнических разъемоа, аналогичных тем, что были локазаны на рис. 19.2, только вместо коаксиального кабеля питания антенны к ним подключен постоянный конденсатор. Сладует учесть, что этот конденсатор должен быть рассчитан на высокое рабочее напряжение — не менее 500 В и иметь малые потери на частотах диапазона 145 МГц. Можно использовать самодельный конденсатор, выполненный из фольгированного стеклотекстолита или из кусочка коаксиального кабеля.

Можно использовать качественный переменный конденсатор с воздушным диэлектриком, который способен работать на частотах диапазона 144 МГц. Однако этот конденсатор должен быть тщательно защищен от внешних атмосферных воздействий. Поскольку не всегда возможно выполнить это условие, то использование переменных конденсаторов в антеннах, установленных на открытом воздухе, ограничено.

Процедуру настройки повторяют несколько рез, добиваясь максимально низкого значения КСВ в кабеле или максимального увеличения напряженности поля, создаваемого антенной.

Возможно, потребуется небольшое укорочение верхнего вибратора антенны для достижения глубокого минимума значения КСВ антенны. При настройке антенны желательно измерять КСВ непосредственно на самой антенне.

19.4. Конструкция четвертьволнового резонатора

Остановимся более подробно на конструкции четвертьволнового резонатора J-антенны. От его выполнения во многом зависит эффективность работы этой

антенны. Для изготовления четвертьволнового резонатора можно взять медные, бронзовые или покрытые нержавеющим составом металлические трубки. Их внешний диаметр может быть в пределах 2...4 мм. Для сохранения оптимального волнового сопротивления линии, состоящей из четвертьволнового резонатора, питающего J-антенну, в пределах 350...450 Ом, отношение между внешним диаметром трубок и расстоянием между их центрами должно лежать в пределах 15...25. Дно четвертьволнового резонатора может быть запаяно на толстый медный уголок. Этот уголок может быть выполнен из толстого двухстороннего фольгированного стеклотекстолита. В нижней стороне уголка просверлено отверстие под коаксиальный кабель. Это обеспечивает жесткость конструкции J-антенны.

Верх четвертьволнового резонатора для придания жесткости его конструкции скреплен пластиной из фольгированного стеклотекстолита. В этой пластине сверлятся отверстия под диаметр трубок резонатора, затем удаляется фольга с пластины, оставляя лишь узкие полоски около отверстий, куда проходят проводники двухпроводной линии. К этим полоскам припаиваются проводники линии четвертьволнового резонатора. На рис. 19.4 показана конструкция четвертьволнового резонатора.

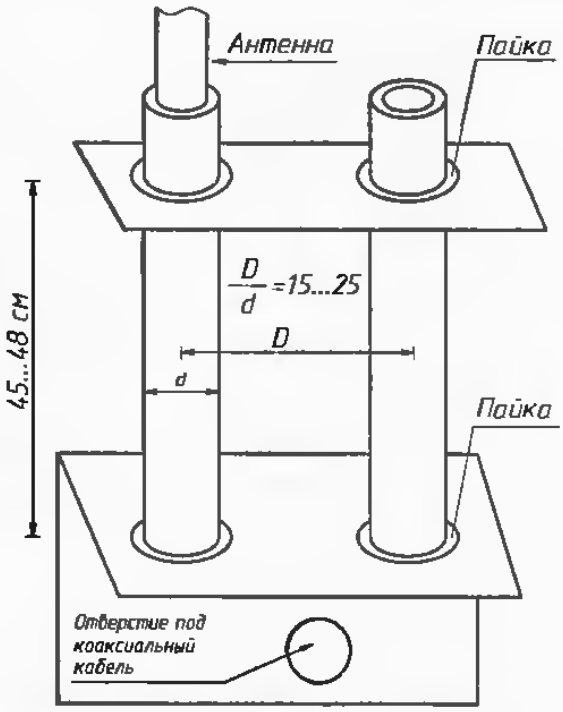


Рис. 19.4. Конструкция четвертьволнового резонатора

Возможно и другое выполнение конструкции пластин, скрепляющих четвертьволновой резонатор. Например, верхняя пластина может быть выполнена из диэлектрика, имеющего высокие диэлектрические параметры при работе в диапазоне УКВ, например фторопласта, полиэтилена. Уголок, скрепляющий четвертьволновой изолятор, может быть выполнен с учетом условий для установки антенны на конкретную мачту. Все зависит от возможности и умения радиолюбителя.

Проводник первого полуволнового излучателя J-антенны запаивается в верхнюю часть четвертьволнового резонатора. Качество пайки перемычек четвертьволнового резонатора и полуволнового излучателя должно быть высоким, так как от этого зависит эффективность работы J-антенны.

Использование для выполнения четвертьволнового резонатора провода толщиной менее 1 мм существенно снизит КПД J-антенны. Однако для экспериментальных целей построение J-антенны из тонкого провода вполне возможно. Недопустимо выполнять антенну и ее четвертьволновой изолятор из ферромагнитных (железных) проводников. Эффективность работы такой «железной» антенны на частотах УКВ диапазона 144 МГц весьма низка. В этом случае для передатчика J-антенна будет представлять собой вариант активной нагрузки. Антенна будет иметь превосходный низкий КСВ, но в то же время малую эффективность при излучении электромагнитных волн. В этой связи можно напомнить, что для многих профессиональных широкополосных антенн бегущей волны их активную нагрузку выполняют из двухпроводной линии, сделанной из железа.

Но продолжим дальнейшее рассмотрение конструктивных особенностей выполнения радиолюбительской J-антенны.

19.5. Крепление фазосдвигающих отрезков

Одним из важных узлов коллинеарной J-антенны является выполнение узла крепления фазосдвигающего отрезка. В моей конструкции антенны для крепления четвертьволнового фазосдвигающего отрезка и вибраторов антенны был использован изолятор из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита. Установка изоляторов в антенне показана на рис. 19.5.

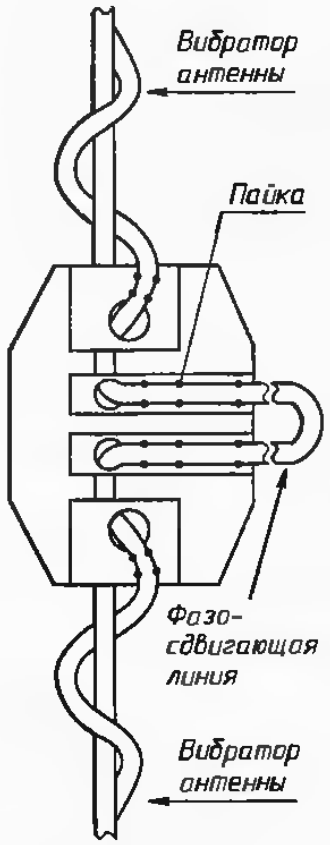


Рис. 19.5. Узел крепления фазосдвигающего отрезка

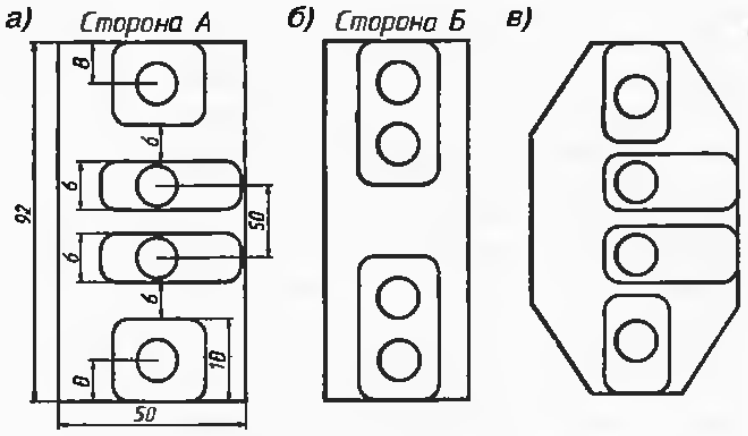


Рис. 19.6. Платы крепления вибраторов и фазосдвигающего отрезка

На рис. 19.6 показана подробная конструкция платы крепления антенны и фазосдвигающего отрезка. На рис. 19.6,а показана первоначальная заготовка одной стороны *А* платы, на рис. 19.6,б показана вторая сторона *Б* этой заготовки. После изготовления платы ее грани или обрезают, или обтачивают на точильном камне, как показано на рис. 19.6,в. Это необходимо для снижения парусности антенны, в конструкции которой используются две такие платы. Вы и сами увидите, как эти платы при сильном ветре будут поворачивать антенну, и она, подобно флюгеру, будет показывать направление ветра.

Провод антенны и фазосдвигающего устройства тщательно зачищается, облуживается и припаивается к плате-изолятору.

Данный способ крепления позволил сохранить жесткость фазосдвигающего отрезка даже при его выполнении из провода толщиной 1 мм.

19.6. Упрощенная конструкция коллинеарной J-антенны

Ниже будет описана упрощенная конструкция коллинеарной J-антенны, которая предназначена для проведения экспериментов с этим видом антенн.

Для упрощенного выполнения коллинеарной J-антенны можно использовать целый кусок медного или алюминиевого провода диаметром 1—5 мм, из которого антенна может быть срезу согнута

Для распорок фазосдвигающих устройств удобно использовать пластиковые пробки из каких-либо пластиковых пузырьков от бытовой химии. Упрощенная конструкция коллинеарной J-антенны показана на рис. 19.7.

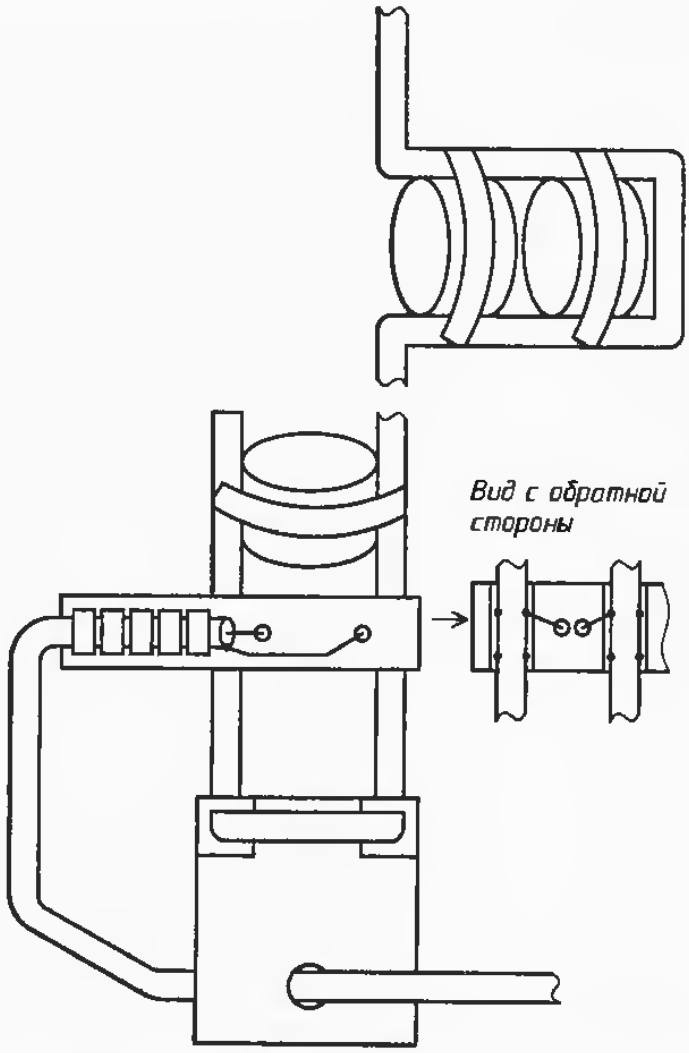


Рис. 19.7. Упрощенная конструкция коллинеарной J-антенны

Подключение коаксиального кабвля к четвертьволновому резонатору осуществляется при помощи пластинки из фольгированного стеклотекстолита. Коаксиальный кабель прикрепляется к этой пластинке. Перемещением по длине четвертьволнового резонатора этой пластинки достигается согласование волнового сопротивления коаксиального кабеля с входным сопротивлением четвертьволнового резонатора коллинеарной J-антенны. На дне четвертьволнового резонатора припаяна стеклотекстолитовая плата с отверстием, в которое продет питающий коаксиальный кабель. Такая конструкция четвертьволнового резонатора обеспечивает его жесткость и в то же время возможность настройки антенной системы.

19.7. Коллинеарная J-антенна с удлиненными элементами

В заключение главы обращаю внимание на то, что иногда используют коллинеарные антенны, длина вибраторов которых равна (5/8)λ, а длина фазосдвигающей линии равна (1/8)λ. Это, например, такая известная радиолюбителям антенна ARX-2B фирмы CUSHCRAFT. Можно также привести большой список радиолюбительских коллинеарных антенн, имеющих такие длины элементов.

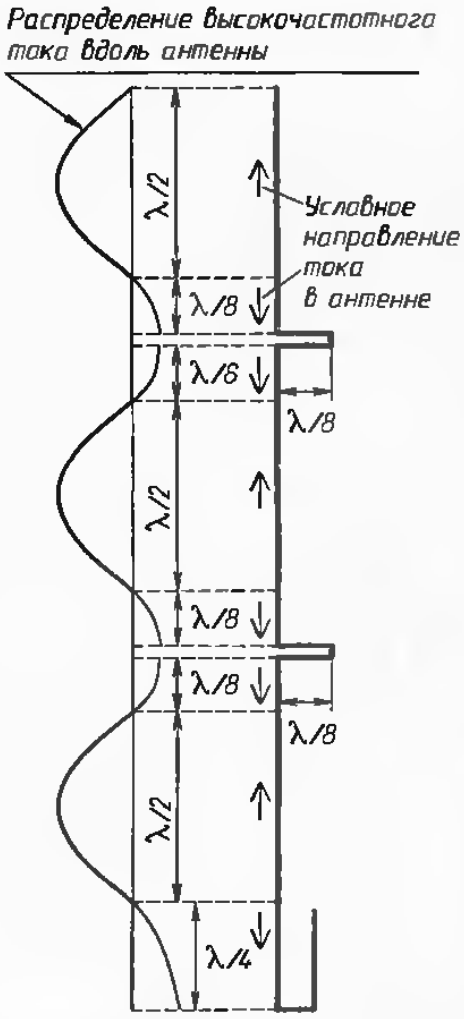


Рис. 19.8. Коллинеарная J-антенна с раздвинутой фазосдвигающей линией

Коллинеарную J-антенну с удлиненными вертикальными элементами и фазосдвигающей линией длиной (1/8)λ можно рассматривать как обычную коллинеарную J-антенну, у которой часть фазосдвигающей линии «перешла» в вибраторы антенны. Это позволило разнести в пространстве полуволновые вибраторы коллинеарной антенны на расстояние (1/4)λ. Усиление коллинеарной антенны при этом несколько увеличивается. Теоретически можно получить добевку усиления примерно на 1,2 дБ по сравнению с трехэлементной антенной с вибраторами длиной (1/2)λ. Необходимо отметить, что токи, протекающие в фазосдвигающей линии, имеют направление, обратное токам, протекающим в полуволновом вибраторе антенны. Этот эффект приводит к некоторому уменьшению усиления такой антенны по сравнению с его теоретически возможной величиной. На рис. 19.8 показана коллинеарная антенна с раздвинутой фазосдвигающей линией. На этом же рисунке показано распредаление токов вдоль этой антенны.

Построив коллинеарную антенну с элементами длиной (1/2)λ, радиолюбитель может поэкспериментировать с ней. Тем более, что очень просто превратить проволочную антенну из антенны с полуволновыми вибраторами в антенну с удлиненными вибраторами. Для этого нужно только немного отогнуть вибраторы антенны, что займет буквально пять минут. Сравнив работу двух антенн, радиолюбитель сам сможет решить, какую из них ему использовать для работы.

19.8. Установка коллинеарной J-антенны в полевых условиях

При установке в полевых условиях коллинеарная J-антенна может быть подвешена за верхний конец с помощью капроновой веревки к дереву. Это один из оптимальных и простых вариантов установки коллинеарной J-антенны. Но такой вариант не всегда возможен. При отсутствии деревьев или других высоких предметов придется использовать какую-либо искусственную мачту для установки J-антенны. Наиболее просто такая мачта для полевых условий может быть выполнена из диэлектрической складной удочки.

Антенна может быть подвешена за конец этой удочки, если, конечно, удочка обладает достаточной прочностью. Если удочка непрочная или установка антенны производится в неблагоприятных ветровых условиях, антенну можно закрепить в нескольких местах удочки при помощи изоленты. Затем удочка закрепляется на поверхности земли. Для этого удочка вставляется в ямку и фиксируется относительно поверхности земли с помощью оттяжек. Установка коллинеарной J-антенны при помощи пластиковой складной телескопической удочки показана на рис. 19.9.

19.9. Установка коллинеарной J-антенны в стационарных условиях

При установке стационарной коллинеарной J-антенны необходимо использовать конструкцию антенны, обеспвчивающую ее жесткость.

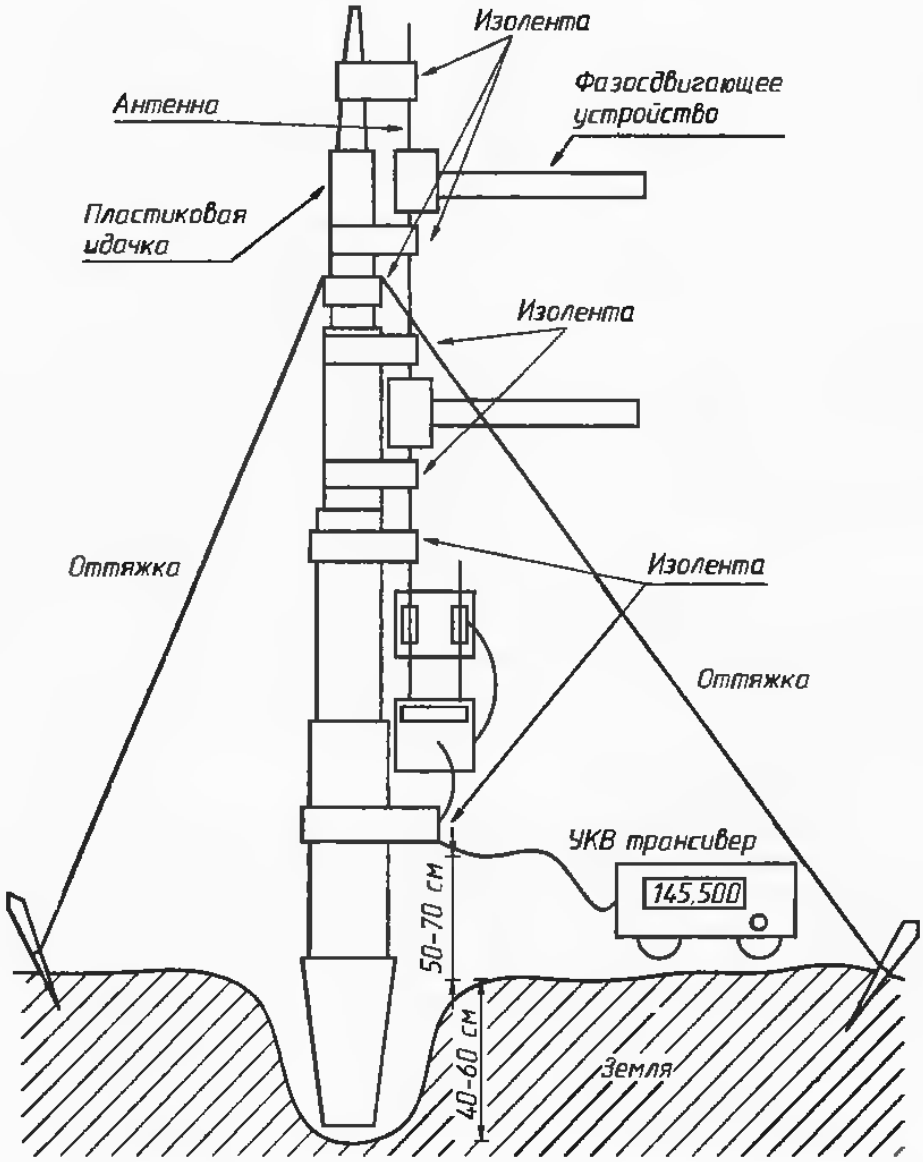


Рис. 19.9. Установка коллинеарной J-антенны при помощи пластиковой складной телескопической удочки

Выпускаются недорогие коммерческие коллинеарные J-антенны, предназначенные для использования как в служебной, так и радиолюбительской радиосвязи. Эти антенны конструктивно выполнены из жестких металлических трубок или штырей. Конструкция таких антенн является сложной для повторения начинающими радиолюбителями. Вследствие этого рассматриваться они здесь не будут.

Рассмотрим простую конструкцию проволочной коллинеарной антенны, которую несложно выполнить в радиолюбительских условиях.

Для стационарной установки простой проволочной коллинеарной J-антенны можно использовать деревянную мачту. От этой мачты коллинеарную J-антенну желательно удалить как можно дальше. Это необходимо потому, что деревянная мачта впитывает влагу, вследствие чего обладает некоторой проводимостью. В случае близкого расположения деревянной мачты к антенне она может расстроить элементы коллинеарной J-антенны. Впрочем, как показывает практика, это относится не только к гигроскопичным деревянным мачтам. Даже пластиковые мачты, покрываясь со временем пылью и влагой, могут ухудшить работу расположенной на них коллинеарной J-антенны.

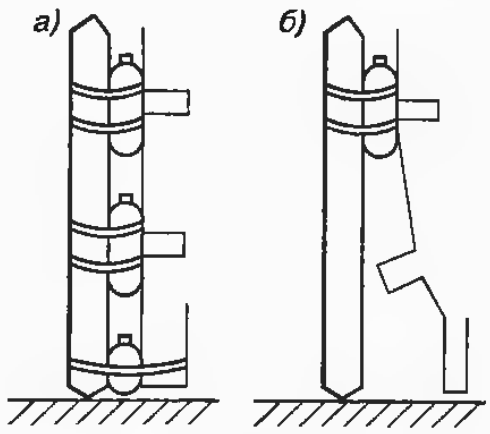


Рис. 19.10. Стационарная установка простой коллинеарной J-антенны

Как показали мои эксперименты, для изоляции J-антенны от деревянной мачты вполне могут подойти пустые пластиковые бутылки. В этом случае конструкция J-антенны будет выглядеть, как показано на рис. 19.10.

На рис. 19.10,а показано крвпление простой коллинеарной J-антенны к полноразмерной деревянной мачте. С помощью трех пустых пластиковых бутылок и изоленты антенну крепят к мачте. Если для крепления антенны и бутылок использовать скотч, обмотанный сверху мягкой ПВХ-изолентой, такая антенна в городских условиях может проработать не менее трех лет. Недостаток этой конструкции антенны в том, что в сырую погоду из-за наличия влаги на изоленте будет происходить небольшая расстройка антенны. В результате этого ее резонансная частота может немного сместиться вниз. Но эта расстройка будет относительно небольшой, и частота резонанса антенны, как правило, не выйдет за пределы любительского диапазона. Во врамя работы J-антенны на перадачу возможна большая утечка высокочастотной энергии через влажную поверхность прилегающаго к ней пластика. Конечно, в сухую погоду эта антенна будет работать вполне нормально.

На рис. 19.10,б показана упрощенная конструкция стационарной коллинеарной J-антенны с невысокой дерввянной мачтой. В этой конструкции к концу мачты крепится только верхний излучатель антенны. Остальная часть антенны располагается наклонно относительно мачты. Конечно, при такой конструкции J-антенны ее параметры будут хуже ,чем параметры классической вертикальной коллинеарной J-антенны. Однако при использовании невысоких деревянных мачт конструкция наклонной коллинеарной J-антенны вполне может быть использована.

Часть 5
ЗАГАДКИ ПРОХОЖДЕНИЯ

Человечество уже дввно, в 1995 году, отметило столетие со дня изобретения радио, а в 2001-м отметило столетие первой трансатлантической связи. Кажется, больше нет загадок в радиосвязи и распространении радиоволн, кажется, что в конструировании антенн все изучено и уже не будет ничего нового.

Но это не так. Природа оставила множество нераскрытых загадок по распространения радиоволн и о работе антенн, которые не были решены в XX веке. И многие загадки могут помочь решить радиолюбители. Работая в эфире, радиолюбитель может не раз встречаться с загадочными явлениями, которые он, может быть, впоследствии сможет разгадать.

В этой части приведены примеры необычного распространения радиоволн на Земле и рассказано о необычной работе антенн в горах. До сих пор нет внятного объяснения такого таинственного явления, как LDE, радиоэхо с длительным временем задержки. Даже первая трансатлантическая связь Маркони таит в себе немало таинственного, и возможность ее проведения вообще до сих пор вызывает споры среди ученых!

Итак, не нужно стесняться говорить о таинственных и непонятных явлениях, которые порой сопровождают радиолюбительскую работу в эфире, наоборот, собирайте сведения об этих явлениях, и, кто знает, может имвнно вы совершите еще одно новое открытие.

20. АЙ-ПЕТРИНСКИЙ ЭФФЕКТ

В этой главе будет рассказано об эффекте экранировки антенн облаками. С эффектом экранироаки тучами антенны радиостанции в горах мне приходилось сталкиваться и ранее, в моих предыдущих горных походах. Однако этот эффект очень явно проявилоя на Ай-Петринском плато и внес существенные корректировки в работу нашей радиоэкспедиции. Еще, что тоже существенно, его наблюдали члены всей радиоэкспадиции, которые могут подтвердить истинность моих наблюдений.

Конечно, не все радиолюбители сталкивались с этим эффектом, а многие, может быть, никогда с ним не встретятся... Однако о нем необходимо знать тем, кто отправляется в высокогорную радиоэкспедицию. Воздействие такого эффекта, может вывести из строя вашу аппаратуру, сделать бесполезным использование направленных антенн, нарушить договоренные трафики радиосвязи. Из-за Ай-Петринского эффекта нам, например, пришлось отказаться от установки направленных антенн.

20.1. Ай-Петринский эффект

Итак, это случилось в мае 2001 года во время радиоэкспедиции UR-QRP-C на плато Ай-Петри. Мы использовали специальный позывной сигнал EM5QRP. Для работы на коротких волнах мы установили две антенны. Одна антенна была обычным длинным проводом длиной 55 м. Вторая антенна была вертикальной антенной марки GPA-30 фирмы Fritzel. Более подробную информацию о наших антеннах, о способах их установки и о размещении экспедиции в приюте можно найти в [1].

Хотя основная часть плато лежит всего лишь на 1200 м выше над уровнем моря, на плато часто лежат облака. Они постоянно опускаются на Ай-Петринское плато с неба. Потом при помощи ветра медленно перемещаются по плато в различных направлениях. Бывает, что в течение 5 минут может светить солнце,

потом на плато садится облако, идет дождь, это облако проносит ветром, и затем снова светит солнце.

Облако не выбирает, в какую сторону ему путешествовать по плато. Часто мы стояли около приюта и наблюдали, как облака важно проходят мимо нас по плато, в стороне от нас спускаются на плато или переваливаются через плато в сторону Ялты. Если облако перемещается по плато в стороне от антенн, то на работу радиоэкспедиции это не оказывает влияния. Но если облако садится прямо на антенны, то работа радиостанции на передачу становится невозможной. В нашей радиоэкспедиции мы это называли «Ай-Петринский эффект» в работе антенн.

Сначала я думал, что причина периодического ухудшения приема и передачи на радиостанции нашей радиоэкспедиции была в плохих контактах в антенных клеммах согласующего устройства. Провода антенны и заземления неоднократно тщательно зачищались, и клеммы туго закручивались. Даже как бы наблюдался мнимый эффект от этих двйствий. Открутил контакты, почистил проводе, туго закрутил контакты, и работа радиостанции как будто бы снова возобновилась. Но сколько раз контакты не зачищались, прием и передача на нашей радиостанции периодически пропадала и появлялась снова. Очввидно, что истинная причина пвриодического ухудшения работы радиостанции была не в этом, не в плохих контактах...

Вскоре нами была открыта тайна этого явления. В тот момент, когда на наши антенны садилось облако, я находился около приюта, в котором была расположена наша радиостанция и находились ребята из экспадиции, и услышал, как кто-то сказал, что прохождение ушло. Впоследствии мы неоднократно проверяли воздействие облаков на антенны. Садится на антенны облако — все, нет связей. Прогнал ветер облако — сразу пошли радиосвязи. *Что же происходит, когда облако закрывает антенну? Почему облако так сильно влияет на работу антенны?* Здесь присутствуют несколько причин, которые мы рассмотрим ниже.

Диэлектрическая проницаемость облака отличается от диэлектрической проницаемости воздуха, которая равна 1. Поэтому когда облако садится на антенну, ее электрическая длина изменяется, что приводит к изменению резонансной частоты антенны. Также измвняется входное сопротивление антенны. Это происходит за весьма короткое еремя, буквально за две-три минуты. При этом ток антенны на высокочастотном амперметре согласующего устройстаа за это время меняется в несколько раз! Конечно, невозможно обеспечить подстройку согласующего устройства аслед за изменениями параметров антенны...

Но изменение реэонансной частоты (и, сладовательно, входного сопротивления) антенны в облаке оказалась только одной из сторон этого неприятного явления. Другой, более неприятной стороной «Ай-Петринского эффекта» оказалась экранировка облаком антенны. Облако состоит из миллиардов крошечных капелек, каждая из которых к тому же может нести небольшой отрицательный относительно поверхности земли заряд. Следовательно, влажное облако не является изолятором как воздух. Это какая-то масса вещества, которая обледеет некоторой проводимостью, де еще и имеет отрицательный относительно земли заряд. И вот эта масса вещества накрывает наши антенны... Накрывание облаком антенн, наверное, можно сравнить с накрыванием антенн металлическим листом. Еще нвсколько минут назад мог быть великолепный прием, а через пару минут, когда густое облако накрывало наши антенны, прием на всвх диапазонах мог полностью прекратиться. Этот *эффект наблюдался преимущественно в дневное время, когда белые облака накрывали антенну.*

Было замечено, что когда черное облако накрывало наши антенны, то прием, хотя и слабый, все же присутствовал. Это для меня остается загадкой. Черное облако обычно более густое, чем белое. Когда находишься в черном облаке, такое впечатление, что находишься в мелком душе. Со всех сторон окружен микроскопическими капельками воды, которые садятся на одежду, волосы, зале-

зают в легкие... А влияет черное облако на радиоприем гораздо меньше белого облака.

В ночное время полного прекращения приема за счет облаков не наблюдалось. Обычно только проявлялся эффект расстройки антенн из-за того, что облако садилось на антенны или проходило через них. Ток антенны на амперметре согласующего устройства при этом плавал. Прием становился неудовлетворительным. Приходилось временно прекращать работу на радиостанции и ждать, когда ветер сдует облака с наших антенн.

Сталкивались с эффектом влияния облака на работу радиостанции и другие радиолюбители, которые работали в горных условиях. Вот что пишет Андрей Блинушов / UA3SGV о работе из горного похода по Хибинам в 2002 году [2]:

«11 августа группа уходила в трехдневное кольцо, и я приплясывал от нетерпения — скорее к трансиверу! Через час с Часночорра в цирк спустилось густое облако, несущее мелкую дождевую взвесь. И все, за целый день — только 14 связей. Вспомнил в тот момент описание радиоэкспедиции на крымскую гору Ай-Петри Игоря Григорова [1]. Когда читал — удивлялся, садилось у них на гору такое облако — связь практически прекращалась. Я с таким явлением встретился впервые...»

«Ай-Петринский эффект» заставил нас отказаться от установки направленных проволочных антенн, которые я взял с собой. Действительно, большую часть времени Ай-Петринское плато покрыто облаками. Покрыты облаками и наши антенны... Какой смысл устанавливать направленные сложные антенны, которые большую часть времени будут неработоспособны. В облаке элементы направленных проволочных антенн типа YAGI будут иметь совсем не те резонансные частоты, которые необходимы для их нормальной работы. Следовательно, говорить о какой-либо диаграмме направленности этих антенн было бы бессмысленно. Не помогли бы нам антенны с фазированным питанием. Из-за того, что тучи имеют непостоянную диэлектрическую проницаемость по своему объему, и из за того, что эти тучи постоянно перемещаются через наши антенны, электрическое расстояние между элементами антенны тоже будет постоянно изменяться. Следовательно, диаграмма направленности такой фазированной антенны будет изменяться по неизвестному закону.

Вот почему для работы в нашей радиоэкспедиции на Ай-Петри мы могли использовать только простые одноэлементные антенны.

20.2. Электротехническое заземление антенн

Был еще один очень неприятный эффект при посадке облаков на антенну. Он проявлялся в виде сильных электрических помех. При белых облаках, которые экранировали наши антенны, в приемнике часто наблюдался сплошной треск, переходящий в хриплый свист или сильный белый шум. В радиостанции Р-143, которую мы использовали для работы в экспедиции, антенна не была электрически соединена с корпусом передатчика. В результате работа этой радиостанции в условиях белого облака из-за сильных электростатических помех была практически невозможна. Прикосновение рукой к антенне вызывало сильный электрический удар. Неоновая лампочка, поднесенная к антенне, светилась. Если при этом антенну при помощи плоскогубцев с изолированными ручками (аккуратно и осторожно!) отключить и приблизить к корпусу радиостанции, то между антенной и корпусом радиостанции проскакивали искры. При накоплении антенной большого статического потенциала возможно повреждение этой радиостанции.

Это показывает, насколько важно иметь электрическое заземление антенны на корпус передатчика или согласующего устройства. Во всех моих самодельных трансиверах и в моих согласующих устройствах антенна была электрически заземлена на землю. Обычно я для этого использую резистор сопротивлением 100 кОм и мощностью 2 Вт. Этот резистор включен между антенной и корпусом устройства.

Необходимо особо остановиться на необходимости наличия электротехнического заземления. Корпус передающей аппаратуры должен иметь хорошее электротехническое заземление. В нашем случае было нетрудно осуществить такое заземление. Приют имел металлическую обшивку, крыша приюта была металлической, около приюта находилась большая металлическая цистерна. Все эти вещи были соединены между собой толстыми металлическими уголками. Нам оставалось только подключиться к любому близкому к нам металлу, и отличное электротехническое заземление было гарантировано. Мы подключились к металлической крыше. Это для нас оказалось наиболее простым.

Нами был отмечен еще очень интересный момент при накрывании облаком наших антенн. В моем согласующем устройстве, которое мы использовали в нашей радиоэкспедиции на Ай-Петри, был установлен индикатор тока антенны. Иногда, когда густое белое облако быстро проходило через наши антенны, ток, протекающий из облака на антенну и далее на землю, который показывал амперметр согласующего устройства, достигал ста миллиампер! Понятно, что в этих условиях говорить о каком-либо приеме было полностью бессмысленно. В наушниках стояли сплошной треск и рев.

Вот бы этот бесполезный ток между облаком и землей пустить на полезные нужды! Как бы фантастически эта идея ни звучала, но такой большой ток между антенной и землей вполне способен делать не только помехи приему, но также и добрые дела, например заряжать аккумуляторы.

20.3. Ай-Петринский эффект зимой

В декабре 2001 года UR-QRP-C тоже организовал экспедицию на Ай-Петри. Эта экспедиция была организована в честь столетия проведения первой трансокеанской радиосвязи Г. Маркони. Мы использовали специальный позывной сигнал EN100GM. Для работы в эфире из экспедиции на коротких волнах применялись две антенны. Одна из них — типа длинный провод. Эта антенна по своей конструкции была практически такая же, как мы использовали весной 2001 года. Ее длина была 55 м, верхний конец этой антенны был закреплен на ту же мачту спасателей. Вторая антенна, используемая нами, была СВ диполь. Каждое плечо этого диполя было длиной 2,7 м, диполь был запитан через толстый коаксиальный кабель волновым сопротивлением 75 Ом. Длина коаксиального кабеля от антенны до согласующего устройства была равна 8 м. Эта антенна удовлетворительно работала на высокочастотных диапазонах 10—20 метров. Каждая из этих антенн подключалась к нашей передающей аппаратуре (трансивер типа К-116 и радиостанция Р-143) через свое отдельное согласующее устройство. Схемы этих согласующих устройств приведены в литературе [3], с. 193—195. В каждом из этих согласующих устройств антенна была электрически соединена с землей.

И снова мы столкнулись с эффектом влияния внешних метеорологических условий на работу антенн! На этот раз этот эффект оказывал снег. Почти постоянно во время нашего пребывания на Ай-Петри шел снег. Это было очень красивое зрелище, когда большие белые снежинки медленно падали на землю. Но, каждая такая снежинка несла на себе небольшой отрицательный заряд. Прикосновение такой заряженной снежинки к антенне сопровождалось очень слабым щелчком в наушниках трансивера. А когда во время густого снегопада одновременно 10, 20 или 100 снежинок соприкасались с антенной, щелчок был во много раз сильней. Вернее, стоял постоянный то ослабевающий, то усиливающийся треск.

Во время же сильной метели, когда снежный поток обволакивал нашу антенну, из-за тресков, стоящих в наушниках, было просто невозможно работать в эфире. Когда метель была очень сильной, появлялся атмосферный ток между антенной и землей. Этот ток очень уверенно регистрировал наш амперметр, расположенный на согласующем устройстве. Но ток этот не был столь значителен, как весной,

когда белые облака проходили через наши антенны. Снег вызывал ток нв высокочастотном амперметре согласующего устройства величиной не более 10 мА.

Однако во время снегопадов мы не наблюдали полного прекращения приема, как это было весной, когда белое облако садилось на наши антенны. Но, конечно, при сильном треске в наушниках работать в эфире тяжело. И все же к трескам в наушниках через пару дней мы с трудом, но адаптировались. Следовательно, сухой снег уже не очень сильно мешал нашей работе в эфире. Наиболее сильно мешал нашей работе чуть влажный снег. Влажный снег редко нес на себе отрицательный заряд и при соприкосновении с антенной таких снежинок в наушниках трансивера не было щелчков. В то время, когда шел влажный снег, в эфире стояла тишина. Впрочем, это была обманчивая для нас тишина. Влажный снег налипал на наши антенны, постепенно делая их все более и более толстыми. В конце концов наши антенны по своему виду напоминали толстых белых экзотических змей, которые неизвестно как заползли на Ай-Петринское плато...

Через некоторое время снегопада антенны оказывались одетыми в толстый снежный диэлектрический рукав. Диэлектрическая проницеемость снега, а тем более чуть влажного снега, существенно выше 1. Конечно, этот снежный рукав на антенне менял электрическую длину антенны, которая зависела от толщины этого снежного покрытия. Менял снег входное сопротивление антенн. Поэтому во время такого снегопада по мере налипания снега на провода антенн нвстройка антенн все время менялась. Практически постоянно приходилось подстраивать согласующие устройства каждой из антенн.

После очень сильного налипания снега на антенну соглвсующее устройство уже не помогало. Антенный ток плавал во время передачи. Рвботать на такую сильно облепленную снегом антенну на малой мощности было просто невозможно. Поэтому приходилось брать в руки длинную палку, тепло одеваться и идти стряхивать снег с антенны. После этого они снова до дальнейшего налипания на них снега работали какое-то время. Как правило, стряхивать снег с антенн приходилось несколько раз в день, а во время обильных снегопадов — почти через каждый час.

Снега на Ай-Петринском плато было очень много. К антеннам приходилось плыть сквозь снег. Стоя гда по пояс в снегу, а гда и по грудь, мы били длинной палкой по нашим антеннам. При не очень удачном ударе снег с антенны попадал за шиворот, за очки, лез в нос, уши и в рот. Что печально, уже через полчаса протоптанные нами следы возле антенн засыпал снег. При следующем освобождении антенн от снега снова приходилось идти по пояс в снегу и снова протаптывать новую дорожку...

Возвращались мы, облепленные снегом, как большие живые снеговики, и быстрее бежали греться возле камина. Снег был в карманах куртки, в обуви, в рукавах. Конечно, убирать снег с антенн мы могли только в светлое время суток. Ночью видимость в свете фонаря во время снегопада состааляла несколько метров. Идти по пояс или по грудь в снегу в любую из сторон от приюта в это время было небезопвсно. Поэтому ночью мы обычно не работали в эфире. Напомню, что весной практически каждую ночь наша радиостанция звучала в эфире. Зимой снег нам не позволил делвть это.

Утром наши антенны от налипшего на них за ночь снега склонялись почти до самой земли или, вернее, до снега, лежвщего на ней. Толщина снега, налипшего нв антенны и на коаксиальный кабель диполя, достигала иногда 20 см в диаметре. Каждое утро я с ужасом думал, что наши антенны не выдержат снегв и оборвутся. Восстановить антенны в условиях постоянного снегопада было бы очень сложно. Металлическая мачта, на которую я повесил антенну типа длинный провод, уже на второй день нашей экспедиции покрылась ледяной коркой и залезть на нее уже было невозможно. Крыша обледенела и покрылась толстым слоем снега. Залезть на эту крышу и, следовательно, восствновить диполь тоже уже было

невозможно. Когда мы завершили экспедицию и покидали Ай-Петринский приют, то оставили наши антенны, висящими на своих местах...

Утром настроить облепленную снегом антенну было очень трудно, почти, что невозможно. Ток антенны плавал, прием совместно с этой антенной тоже был неудовлетворителен. Только после освобождения антенны от снега она начинала работать... И станция EN100GM снова звучала в эфире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. Экспедиция в горный Крым. Май 2001.

2. Блинушов А. Экспедиция в горы Заполярья. Хибины — 2002.

3. Григоров И. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт, 2002. — 272 с. — ISBN 5-93037-087-7.

21. СОПРЯЖЕННЫЕ ТОЧКИ ЗЕМЛИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Написать эту главу мне позволил опыт моей предыдущей работы, которой я занимался в течение семи лет. В мои обязанности по работе входило обслуживание сети служебных УКВ радиостанций, расположенных по всей Белгородской области. Сеть радиостанций состояла из стационарных УКВ радиостанций большой мощности, рвсположенных в разных населенных пунктах области. Эти радиостанции могли вести связь между собой непосредственно или передавать радиограммы друг через друга. В районе, обслуживаемом стационарной радиостанцией, были возимые радиостанции, установленные на автомобилях, и переносные радиостанции, принадлежащие личному составу. Переносные и возимые радиостанции могли держать связь как между собой, так и с центральной стационарной радиостанцией. Стационарная радиостанция могла ретранслировать работу возимых и носимых радиостанций и обеспечивать тем самым их дальнюю связь между собой.

Уже в первый год моей работы я обратил внимание на то, что в некоторых районах Белгородской области постоянно существовали проблемы со связью. Радиостанции часто ломались, связь даже на небольшом расстоянии была неуверенной. В других районах области этой проблемы не было. Радиостанции всегда были исправны, связь устойчивая. В области использовались однотипные радиостанции и однотипные антенны для них. Поэтому мне сначала было совершенно непонятно, почему один и тот же тип радиостанции в разных районах области работает абсолютно по-разному.

В первое время мне казалось, что в этой ситуации виновен персонал. Неправильное обслуживание радиостанций, плохие антенны могли привести к тому, что связь в некоторых местах была неустойчивой. Однако через некоторое время я понял, что это не так.

В тех районах, где радиостанции часто ломались, обслуживанию радиостанций уделяли особое внимание. Их эксплуатировали согласно всем правилам, были установлены хорошие антенны. Наоборот, там, где радиостанции не ломались и связь была устойчивая, персонал редко обращал внимание на правильное их обслуживание.

Получался парадокс: в районах, где радиостанции правильно обслуживали, они работали неудовлетворительно. А там, где не удаляли внимание их правильной эксплуатации, радиостанции работали отлично!

В чем же была причина их такой различной работы? Я все больше склонялся к мысли, что здесь отчетливо проявляется роль места. Есть места благоприятные для установки радиостанций и антенн, а есть места, которые не благоприятны

для этого. Это еще подтверждалось штатными испытаниями автомобильных радиостанций.

Через определенное время офицеры связи проверяли качество связи между возимой радиостанцией и базой. Для этого мы садились в автомобиль, оборудованный возимой УКВ радиостанцией. Автомобиль совершал объезд района, который обслуживала стационарная радиостанция. В некоторых местах связь между возимой и стационарной радиостанцией отсутствовала или была плохого качества. Персонал, в автомобиле которого была установлена возимая радиостанция, уверял меня, что с этих мест всегда нет удовлетворительной связи. Или что только зимой (или в другой сезон года) отсюда возможна связь. С других мест, наоборот, мы не только связывались с местной центральной радиостанцией, но и слышали другие далеко расположенные стационарные радиостанции

Анализ рельефа местности, где были расположены эти загадочные точки, не смог объяснить такого загадочного прохождения радиоволн. Но анализ названий мест, анализ свойств этих мест в дальнейшем позволил мне четко спрогнозировать, где могут быть расположены такие места. Это все изложено в данной главе.

Через некоторое время я мог только на основании названия местности и на основании погодных условий этой местности ясно сказать, что в таком-то месте существуют трудности со связью или, наоборот, связь всегда отличная. Персонал, который эксплуатировал радиостанции в тех местах, практически всегда подтверждал мои предположения.

В советское время многие села и деревни переименовали, дав им красивые названия. Но свойства местности от этого не изменились. Для того, чтобы определить свойства какой-либо местности, я пользовался дореволюционными картами.

Занимаясь радиолюбительством, разговаривая с радиолюбителями об их достижениях, я еще более укрепился в своем убеждении, что свойства данной местности оказывают очень сильное влияние на прохождение радиоволн в данной местности. В Белгородской области располагаются огромные залежи железной руды. Поэтому эта местность густо усеяна местами, влияющими на работу аппаратуры и на проведение радиосвязи.

21.1. Миф QRP

Многие радиолюбители предпринимали попытки работать малой мощностью — на QRP. Но не у всех эти попытки удачно закончились. Часто после таких своих неудачных попыток эти радиолюбители не верят в возможность QRP работы. Читая в радиолюбительских журналах о достижениях при работе на QRP, эти радиолюбители говорят: «Чепуха, миф и обман». Действительно, если мы проведем расчет трассы связи, опирвясь на строгие формулы из теории распространения радиоволн, мы придем к выводу о том, что трансокеанские QSO при работе с использованием мощности 1—5 Вт невозможны. Но такие связи проводятся! И это не миф, что могут подтвердить радиолюбители, проводившие такие QRP — QSO.

Так что же позволяет некоторым радиолюбителям проводить QRP — QSO? Прежде всего — место.

21.2. Сопряженные точки Земли

Да, именно во многом благодаря географическому положению радиостанции возможно проведение DX-QSO с нее при использовании простой аппаратуры. Давайте разберемся, почему это так. Для этого немного отвлечемся от проблем любительской радиосвязи и посмотрим на человека.

Все мы уже знаем, что тело человека покрыто особенными точками, называемыми акупунктурными. Воздействуя некоторым образом на эти точки, часто

расположенные в самых неожиданных местах, можно с лечебной целью воздействовать на любые органы человека. При этом точки, с помощью которых оказывают воздействие на один и тот же орган могут рвзмещеться в разных местах на теле человека. Различны также методы воздействия на эти точки. Лечение человека воздействием на его акупунктурные точки иголками широко практиковалось в Китае уже более деух тысяч лет назад.

Но, как было обнаружено в XX веке, наша планета Земля также покрыта подобными точками. Они носят название «сопряженных» точек. Сопряженные точки характеризуются тем, что при воздействиях любого характера гравитационного, электромагнитного, сейсмического в одной из сопряженных с другими точками эти воздействия проявляются в других сопряженных точках с такой скоростью и силой, которые не могут быть объяснены известными нам законами распространения этих яалений.

Например, при проведении ядерных взрывов было обнаружено, что в сопряженных с местом взрыва точках происходит увеличение радиоактивности, повышается температура, происходят сейсмические явления, характерные для ядерного взрыва. Причем эти эффекты наблюдаются практически одновременно с проведением взрыва за много тысяч километров от него. Известным механизмом распространения этих воздействий это не может быть объяснено. Конечно, сила проявления этих явлений в сопряженных точках выражена весьма слабо. Но тем не менее она вполне фиксируатся существующими средстввми измерения.

Проявление сопряженных точек Земли в радиосвязи выражается в том, что даже используя небольшую мощность передатчика в этой точке, в сопряженных точках мы получим достаточно высокий уровень радиосигнала, превышающий его возможный теоретический. В таких местах часто постоянно слышны удаленные радиостанции, находящиеся за многие тысячи километров в сопряженных местах. При удалении от такой местности на несколько километров, эти станции уже не слышны. Радиолюбители, живущие в таких местах, могут проводить постоянно дальние связи с определенными удаленными корреспондентвми.

21.3. Сопряженные точки в ионосфере Земли

Другое проявление сопряженных точек в ионосфере Земли хорошо известно всем радиолюбителям в наше еремя. При запуске космических кораблей плазменный след проявляется в ионосфере не только в месте запуска космического корабля, но и в сотнях других мест, весьма удаленных от места запуска. В результате этого происходит резкое кратковременное улучшение связи на любительских промежуточных УКВ диапазонах 6—10 метров. Зто уже прояеление сопряженных точек ионосферы Земли, которые в наше время являются практически не изученным явлением.

21.4. Откуда происходят сопряженные точки

Нвука пытается дать отеет о происхождении точек акупунктуры человека. Но откуда и как происходят сопряженные точки Земли, аналогичные точкам акупунктуры человека?

Обратимся к строению нашей планеты Земля. Не будем касаться теории, вследствие которой наша планета представляет собой нечто живое. Чтобы загадать нам множество неразрешимых загадок, вполне достаточно тех реальных фактов, которые мы знаем о строении нашей планеты. Заглянем внутрь планеты Земля. Под внешне спокойной и незыблемой поверхностью Земли происходят великие процессы. Текут подземные реки, многие из которых гораздо больше земных рек, плещутся гигантские моря из воды и нефти, проходят газовые потоки. Ниже подземных рек

и морей из воды и нефти протекают реки и плещутся моря из раскаленной магмы, на которых, как считается, плавают наши материки.

В месте тектонических разломов материковых плит (это, даже сложно представить, треснувший и расколовшийся материк, разные половинки которого «плывут» в разные стороны!) происходят своеобразные «магнепады», бушуют бури из раскаленной магмы. Эхом этих бурь и «раскачивания» материков являются землетрясения, уносящие жизни порой десятков тысяч человек, и извержения вулканов, которые в древности губили целые цивилизации. Проявлением остаточной даятельности подземных сил являются рудные месторождения, залежи золота и алмазов. Места тектонических разломов заполняет вода, в результате чего, например, образовалось самое глубокое озеро в мире (глубина свыше 1600 м) Байкал.

Необходимо сказвть, что о строении планеты Земля человек знает ничтожно мало. Космические корабли передали нам фотогрвфии с окраин Солнечной системы. Теперь мы знаем, как выглядят планеты, отстоящие от нас на многие сотни миллионов километров, но мы не знаем точно, как выглядит наша планета, находящаяся у нас под ногами на глубине 10 километров.

Астрономы могут составить карты звездного неба на многие десятки тысяч лет вперед, могут предсказать солнечные и лунные затмения на тысячи лет вперед. Никто из живущих сейчас никогда не сможет их увидеть и проверить правильность таких расчетов. Для 99,9999% населения Земли эти прогнозы не несут никакой ценности. В то же время мы не можем предсказать землетрясение хотя бы на один день вперад, что спасло бы жизни многих людей. Мы до сих пор не имеем точных карт многих мест Земли. Человечество тратит гигантские средства на поиски подземных ископаемых и, скорей всего, будет тратить их в течение многих лет и в будущем.

Мало исследованными являются сопряженные точки Земли, а наличие их карты и характера проявлений могло бы оказвть бесценную помощь в разрешении многих загадок нашей планеты. Но давайте обратимся к тому, что уже исследовано.

21.5. Типы сопряженных точек Земли

На теле человека точки акупунктуры можно довольно легко определить с помощью обыкновенного омметра. В этих точках наблюдается резкое увеличение или уменьшение сопротивления между точкой акупунктуры и вторым электродом, который находится в левой руке человека. Следовательно, на теле человека можно обнаружить два типа точек акупунктуры: с высокой проводимостью и с низкой проводимостью.

При проведении исследований сопряженных точек Земли было выяснено, что на поверхности Земли, так же как на теле чвловека, существует два основных типа точек. Эти точки были условно названы «белое пятно» (БП) и «черное пятно» (ЧП). Разберем, чем эти точки характеризуются и чем они интересны для радиосвязи.

В месте БП наблюдается резкое улучшение прохождения. На каких-то участках радиодиапазонов наблюдается повышенный эфирный шум, часто возможен хороший прием с использованием суррогатной антенны. Часто эфирный шум, регистрируемый приемником, имеет волнообразный хврактер (шум прибоя) и плавно кочуат по диапазонам. Именно «белые пятна» являются сопряженными точками между рвзличными местами поверхности Земли.

«Черное пятно» — это место, где происходит явное ухудшение радиоприема. Как показывает опыт, в таком месте человек часто чувствуат себя плохо, у него болит голова. В таких местах часто наблюдаются сбои компьютеров, плохо работает любая микроэлектронная техника и сложная механическая аппарвтура. Например, начинают неправильно идти механические часы. «Черные пятна», как предполагают, сопряжены не с местностями, находящимися на поверхности Земли, а с точками, находящимися внутри Земли. Поэтому в месте их расположения

проявляются негативные воздействия, обусловленные естественными условиями внутри планеты Земля: высокими температурами, повышенным уровнем гравитации, высоким давлением и другими, может быть неизвестными нам, природными явлениями. Естественно, что таким влиянием наиболее подвержены «тонкие» вещи. В современных микросхемах токи, протекающие в некоторых элементах, насчитывают не миллионы электронов, как в лампах, а составляют десятки электронов. Это может объяснить, почему аппаратура на микросхемах более чувствительна ко всякого рода воздействиям.

Именно тем, что один радиолюбитель проживает в месте расположения БП, а другой в месте расположения ЧП, можно объяснить, почему у одного хорошие результаты при работе в эфире на старом ламповом трансивере с проволочной антенной, а у другого — нет, несмотря на то, что используются прекрасный современный трансивер и направленные антенны.

У меня накоплено много интересных фактов, подтверждающих существование «Б П» и «Ч П». Хочу привести один из этих фактов. Многие радиолюбители, конечно, помнят UB5IF и его поучительные разговоры в эфире о настройке антенны VS1AA. Но, все дело в том, что он проживал в ярко выраженном «белом пятне», только этим и объясняется его такая феноменальная работа в эфире. Стоило ему только покинуть «белое пятно» — и его радиостанция, и антенна стали работать так, как и у других радиолюбителей...

Вот какое сообщение опубликовал Александр Лесничий (RU6LA) на форуме «Hz» от 18 декабря 2002 года по поводу работы UB5IP.

«...Я вспоминаю UB5IF — может, кто еще помнит — он «гремел» на 40м лет 20 подряд. И самое удивительное, что была у него VS1AA (простая проволочная антенна) и PA на ГУ-13, а потом ГУ-80 и все это в частном секторе. Даже нам с 3-элементами Яги был иногда весьма удивителен его прием и передача! Он все это объяснял «правильностью» изготовления этой самой VS1AA! Рассказывал, как надо правильно ее делать (например, провод брать не 3-мм, а 3,2-мм!!)... Но потом он переехал в другой дом, находящийся в 2 км от старого... Все пропало! Он переделывал VS1AA, в конце концов перенес со старого QTH и старую антенну вместе с мачтами — не помогло! С тех пор его на диапазонах практически не стало слышно... Наверное, так и не смог привыкнуть работать как все остальные...»

21.6. Обнаружение ЧП и БП

Но как же обнаружить такие пятна на поверхности Земли? То, что в ЧП приемник с трудом принимает слабые сигналы, а в БП, наоборот, наблюдается отличный прием, часто даже с суррогатной антенной, еще не является способом их обнаружения и доказательства их существования. Скептики могут привести множество причин, объясняющие плохой и хороший прием в разных местностях.

Однако существует очень простой способ обнаружения и доказательства существования таких пятен. Самый простой из них — это обычная климатическая карта. Климатическая карта отражает среднюю температуру, постоянные «розы» ветров, среднее количество осадков в данной местности в течение некоторого времени, это может быть конкретный месяц или сезон года. Впрочем, многие, наверное, замечали, что есть места, где всегда или теплее, или холоднее относительно других мест.

В теплых и сухих местах (по климатической карте) наиболее часто проявляются ЧП, в холодных и влажных более выражены БП. Отсюда понятно название — «черное пятно» и «белое пятно». На фотографии местности из космоса или с самолета, сделанной в инфракрасных лучах, эти пятна действительно выглядят как белое или черное пятно, по сравнению с общим серым фоном фотографии. Размеры этих пятен могут быть диаметром от десятков метров до нескольких километров, что очень четко видно на данных аэросъемки.

Различают еще так называемые инверсные пятна. Это наиболее загадочные среди остальных видов сопряженных мест. «Инверсное» место характеризуется тем, что когда всюду холодно, в этих местах наблюдается явное потепление. Когда всюду тепло, в этих местах наблюдается явное похолодание. Когда всюду идет дождь, в этих местах стоит сушь. И эти метеорологические явления носят устойчивый характер, проявляются из года в год, из поколения в поколение.

В «инверсном» месте наблюдаются крайние варианты проявления БП и ЧП: или отличный прием, или ничего не слышно. «Инверсные» места могут проявлять себя только при смене сезонов, могут в зависимости от сезона быть или БП, или ЧП, например, БП — летом, ЧП — зимой. Могут даже меняться в соответствии с ритмом лунного календаря! «Инверсные» пятна могут появляться и исчезать, они могут плавно перемещаться по поверхности Земли. Очевидно, что инверсные пятна связаны с какой-то деятельностью внутри нашей планеты. Но с какой? Это до сих пор остается загадкой. Так же непонятно, с какими точками планеты сопряжены «инверсные» места, так как сопряженные с ними места тоже меняются.

Часто уже в названии местности скрыт его характер. Например, Сухая балка, Холодная гора, Лысая гора, Урожайное (БП и ЧП влияют не только на прохождение, но и на рост растений). Некоторые местности издавна пользуются дурной славой, и местные жители ни за что не пойдут туда в темное время суток, это и есть инверсные места. Такие названия тоже отражены народом, например «Чертово логово», «Черная поляна» и др. В эпоху СССР многим этим местам дали другие, более благозвучные названия, однако свойства тех мест от их переименования не изменились...

Состояние ионосферы, магнитные бури не влияют на «инверсные» места и не влияют на прохождение радиоволн в БП, ЧП.

21.7. Радиосвязь из сопряженных мест

Если вы вдруг обнаружили, что проживаете в ЧП, т. е. в вашем месте явно плохой прием или явно плохо отвечают при радиолюбительской работе, а буквально рядом с вами на той же аппаратуре можно проводить DX-QSO, то для успешной радиолюбительской работы вам необходимо сменить QTH. В противном случае ни квалификация, ни аппаратура, ни антенны не помогут.

Если же вам кажется, что вы находитесь в БП, то вы в этом можете очень просто убедиться. Проанализируйте ваши QSO. Для этого их удобно нанести на карту. Явное преобладание связей с какими-то отдельными местностями, явное улучшение прохождения и возможностей проведения радиосвязей в определенные моменты времени, а явление БП, как и ЧП, часто носит волнообразный характер, может указать, что вы находитесь в БП.

Считается, что частотный спектр радиоволн, на который оказывают влияние сопряженные точки — БП, ЧП, лежит от нескольких десятков герц до сотен мегагерц. Причем в конкретном БП или ЧП наблюдается явным пик или пики на каких-то участках частного диапазона.

Проанализировав свои радиолюбительские связи по диапазонам, по слышимости различных вещательных и служебных станций, можно определить окна частот, в которых вероятна лучшая работа в эфире в конкретном месте.

Обратите внимание еще и на то, что есть односторонние БП и ЧП. В этих местах наблюдается явное ухудшение (или улучшение) только или приема, или передачи.

Пример: вы слышите слабую QRP-радиостанцию, а она отвечает вам только, если вы используете мощность во много раз превышающую мощность этой станции. Или на ваш QRP-вызов отвечает куча мощных 100-ваттных станций, а вы их слышите на 339... Но такие односторонние места встречаются намного реже, чем классические БП и ЧП.

Итак, в проведении любительских радиосвязей большое значение имеет географическое расположение радиостанции, особенно если радиостанция расположена в месте спряженных точек. В этом случае, используя простую аппаратуру и простые антенны вполне возможно проводить радиосвязи со многими точками Земли, особенно если они являются сопряженными точками.

Классический вариант проявления «белого пятна», когда через несколько лет радиолюбитель замечает, что с одними определенными местностями Земли у него проведено большое количество связей, а с другими местностями — нет. Использование направленных антенн, более совершенной аппаратуры, более мощного передатчика часто не дает желаемого эффекта.

Ну а вдруг окажется, что вы работаете из «черного пятна»? Или ваше «белое пятно» вдруг оказалось инверсным местом и через некоторое время превратилось в «черное пятно»? Все усилия, направленные на покупку дорогой аппарвтуры, на установку новых антенн, напрасны. Эффективная работа радиолюбителя невозможна...

Что же, в этом случае вы имеете прекрасную возможность изучать свойства до сих пор не изученных даже в XXI веке мест... Внимательно слушайте эфир, сравнивайте вашу рвботу с работой других любительских радиостанций, отмечайте закономерности в прохождении радиостанций, работающих из различных мест. И, кто знает, может, именно вы и откроете до сих пор неизвестные свойства сопряженных пятен.

Сравнивайте сами, что для вас лучше: провести множество однотипных связей или своей радиолю5ительской работой приблизить разрешение тайн нашей с вами планеты Земля!

21.8. Заключение

Вариант этой статьи был опубликован в Интернете. На нее пришло много отзывов, как подтверждеющих, так и критикующих эту статью. Хочу привести только один наиболее интересный из них. Этот отзыв был опубликован на КРС WebSite (www.krs.poltava.ua), QUA-UARL #46, от 22 ноября 2001 года:

АКУПУНКТУРА ЗЕМЛИ И РАДИОЛЮБИТЕЛИ (НЕПРОВЕРЕННАЯ ИДЕЯ)!

На материвл RZ3ZK — см. ##43—45
From UA6LTO (приводится с сокращениями):

...поэтому хотелось бы сказать несколько слов в поддержку данной идеи.

1. Теория «акупунктуры Земли» не нова, давно обсуждается и более того, нвбран довольно большой экспериментальный и фактологический материал.

2. Лично у меня хранятся данные, собранные на протяжении 4 лет с 1988 года, когда я работал начальником цеха связи Воркутинской геофизической экспедиции. Это было очень удачное сочетание для изучения проблем радиосвязи в полярных широтах с «привязкой» к геофизической составляющей, благо аппаратура для того и другого была неплохая. 17 полевых партий экспедиции были разбросаны» на территории от Нарьян-Мара до Салехарда, база находилась в Воркуте. Партии «кочевали» практически ежегодно, поэтому зона исследования была довольно обширной. Методы «зондирования» были разные, но хочу выделить два, прямо противоположных:

— сейсморазведка, звключавшаяся в покрытии исследуемой площади сейсмодатчиками, соединенными в сеть и подключенными к специализированной ЭВМ; в определенной точке производился взрыв заряда, и импульсы от разных слоев земной поверхности фиксировались этой сетью датчиков;

— каротаж, исследование пробуренных скважин с помощью различной электронной аппаратуры и датчиков, опускавшихся в скважину на довольно большую глубину.

Но особенный интерес лично для меня тогда представляло соответствие геофизических условий, в которые попадала полевая партия, с качеством радиосвязи между «полем» и «базой». Одна и та же аппаратура («РСО-30» — «Полоса», «Гроза», «Алмаз», а впоследствии — «Ангара») полевой партии, одни и те же антенны при переезде на новое место начинали вести себя совершенно по-другому. Были и трагедии: оснащенные «Каратами» топографы, работавшие вокруг полевой партии в радиусе до 10 км, иногда зимой погибали, так как не могли на вполне исправной радиостанции связаться на частотах 1600...1800 кГц с основной радиостанцией полевой партии, находившейся от них на расстоянии 5—6 километров!

Конечно, любой радиолюбитель, менявший QTH, мог лично убедиться в том, что его аппаратура на новом месте ведет себя по-другому. Но я в данном случае говорю о другом: о «чистоте эксперимента». Переезд в пределах населенного пункта, когда есть другой рельеф местности, другая застройка зданий и уровень промышленных помех — это одно дело. Но переезд полевой партии на 10...20 км в сторону, с полным дублированием расположения балков, мачт и другого оборудования в Большеземельской тундре (т. е. практически на ровном месте) — это другое дело. Фактически менялась именно «акупунктурная точка», и все зависело от того, что находится под ногами. К тому же если радиолюбитель, сменив QTH, не всегда знает характеристику нового места, то в данных случаях было известно практически все: проводимость почвы, строение верхних слоев, климатическая карта, геомагнитные составляющие (ведь экспедиция-то геофизическая!).

В таких условиях, в период 1988—1992 гг. (тоже, кстати, года активного Солнце) мне удалось собрать большой материал по интересовавшей меня тематике — соответствия геофизических параметров и условий прохождения радиоволн в условиях Заполярья. Так как я к тому времени уже был дипломированным радиоинженером (окончил Московский институт электронной техники), то эти данные были использованы для дипломных работ некоторых моих друзей в Воркуте при окончании ими вузов в Санкт-Петербурге. Но все-таки большой и серьезной проработки, требующей специального программного обеспечения, эти материалы еще ждут.

3. Часть практических рекомендаций по выбору места для антенны и вообще для QTH радиостанции я обещал членам клуба «АРКТИКА» опубликовать в специальной брошюре-приложении к клубному бюллетеню «Радиотоп» в этом году. К сожалению, у меня катастрофически не хватает свободного времени для того, чтобы завершить эту, уже анонсированную, книжку «Антенны арктических экспедиций», но сейчас речь не об этом. Я просто хочу поддержать ВСЕ, что сказано в статье RK3ZK «Акупунктура Земли», так как все, что там изложено, имеет практическое подтверждение в собранных мною материалах.

Более того, все радиолюбители, заинтересовванные в построении такой «акупунктурной карты Земли», могли бы внести свой вклад, проанализировав собственный опыт и аппвратный журнал. Частенько приходится слышать в эфире:

«Ваш регион идет у меня на 59 при любом прохождении!» Вот и надо собрать в одном месте данные о таких «парах» QTH, связанных между собой «при любом прохождении». Нанести их на карту Земли и посмотреть, что получится. Конечно, это будет лишь первое, очень грубое приближение.

По моим данным, точки, благоприятные для рвзмещения антенн, располагаются в узлах сетки 10 на 10 м, но общея негативная или положительная хврактеристика узла может, как справедливо замечено в статье RK3ZK, «разрастаться» на 1—2 км. Особенно это касается точек с плохим прохождением.

4. Ну а насчет топонимики районов (зависимости названия места и его свойств), поверьте, там на Севере это очень хорошо выражено и соответствует действительности. Ведь в тундре место можно различить по тому, что на одном олени пасутся, плодятся и жиреют, а на другом — дохнут, однако.

5. Справедливости ради, хочу отметить, что в сборе данных также участвовали работавшие вместе со мной в цехе связи Воркутинской геофизической экспедиции Александр Бабин (UA9XLG) и Владимир Артюкевич (RA9XQ, exRA9XBF).

73! Александр Максуров, UA6LTO (exUA9XGB, RA9XO)

22. ФЕНОМЕН LDE

«A long time ago, in a galaxy far, far away...» кажется, такой заставкой нвчинвется знаменитый фильм «Звездные войны». Уже давно не смотрел кассету... Много лет назад, в одной делекой галактике... Но мне хочется обратиться к одному удивительному явлению, которое было открыто не так давно по времени и до сих происходит на нашей Земле. Это феномен носит название «Long delay-echo» — эхо с зедержкой радиосигнала сигнала со временем более нескольких секунд.

22.1. Открытие LDE

Впервые это явление было описано в [1] норвежским радиоинженером Jorgen Hals, наблюдавшим в конце лета 1927 года LDE от коротковолновой радиовещательной радиостанции PCJJ, находящайся около города Eindhoven, Дания (Dutch). Эта радиостанция работала на волне длиной 31 м. Jorgen Halls принял эхо-сигналы от этой радиостанции с задержкой до 10 с. Его приемная станция находилась в Bygolo, около Oslo.

Если принять во внимание, что кругосветное эхо приходит всего лишь с задержкой около 1/8 с, то легко было понять изумление Jorgen Hals, когдв он принял столь задержанные во времени радиосигналы. Причем принятые сигналы LDE были довольно значительными по силе. Неудивительно, что почти год он хранил молчание об этом явлении. И только неоднократно приняв LDE и убедившись в существовании этого явления, Jorgen Hals решился на публикацию материалов о своих наблюдениях. Сам он написал в своем сообщении об этом явлении так: «Я не могу объяснить это явление, я могу только подтвердить, что наблюдал его...». К счастью, тогда наука радиотехника только развивалась и это сообщение никого не удивило. Наоборот, ученые начали проводить исследования этого загадочного явления.

К удивлению многих ученых, эксперименты, проведенные ими, подтверждали существование феномена LDE! Радиофизик Ван-дер-Поль (Van der Pol) сообщил, что им тоже было неоднократно принято эхо сигнала с большой временной задержкой. Позже, в 1934 году, Van der Pol принял LDE от той же радиостанции PCJJ [3], что было документально зафиксировано его помощниками. (Ван-дер-Поль известен на Западе многими своими работами в области распространения радиоволн. До сих пор используется его формула для расчета напряженности электромвгнитного поля. В советской радиотехнической литературе эту формулу нызывают формулой Шулейкина—Ван-дер-Поля [2]. Шулейкин М. В. (1884—1939) — автор основополагающих трудов в области распространения радиоволн.)

22.2. Исследование LDE

Хочу привести еще одно документально зафиксированное наблюдание феномена LDE. Французская научная экспедиция во главе с учеными J. B. Galle и G. Talon, в 1929 году отправилась в район Индокитая (напомним, что в то время Индокитай был французской колонией) для исследования активности Солнца. Этой экспадицией, добывшей немало интересных данных в этой области науки, также проводились исследования по распространению радиоволн. Научная экспедиция была тщательно организована, в ее составе находилось несколько кораблей.

Для исследования распространения радиоволн в экспедиции был использован передатчик мощностью 500 Вт, работающий на волне длиной 25 м. Передатчик был установлен на экспедиционном судне «La Perouse». Антенна передатчика — длинный луч (провод) длиной 20 м, конец которого был закреплен на мачте на высоте 8 метров от палубы корабля. На берегу в Poulo Condere располагалась приемная радиостанция, которая проводила прием сигналов передатчика этого судна [3].

2 мая два судна, «La Perouse» и «L'Inconstant», отплыли из порта Saigon. Каждые полчаса в течение 10 мин планировалось посылать специальные модулированные импульсы, по модуляции которых можно было судить о времени, когда они были посланы. Однако во время плавания этих даух кораблей эти эксперименты проводились не постоянно, ппохая погода иногда мешала их проведению. Не забывайте, что радиостанция была установлена на корабле и питалась от его энергетической установки!

Но 8 и 9 мая эти эксперименты по распространению радиоволн проводились постоянно. В результате 9 мая 1929 года было официально зафиксировано явление LDE. Были приняты радиосигналы с задержкой, доходящей до 40 секунд. Принятые сигналы LDE были значительными по своей силе, как будто бы они не «блуждали» эти 40 секунд в пространстве. В [4] были подробно описаны вти опыты, условия их проведения, используемая при этом аппаратура.

Наблюдение явления LDE в конце 20-х и в 30-х годах XX века было звфиксировано многими другими авторитетными учеными того времени, что исключает возможность какой бы то ни было фальсификации. Об этом, в частности, можно прочитать в [5] и [6].

22.3. LDE под запретом

Но уже в конце 30-х годов начался неофициальный запрет на публикацию материалов о явлении LDE. Публикации об этом феномене начинают исчезать из научных журналов. Начало Второй мировой войны как бы официально закрепило запрет на публикацию материалов о феномене LDE. Однвко, несмотря на официальный «запрет», это явление существовало на планете Земля независимо от людей, которые пытались его запретить.

Во время второй мировой войны этот феномен часто наблюдали военные радисты. Я лично в беседах с бывшими военными радистами не раз слышал упоминание об этом феномене.

Например, один военный редист мне рассказывал, что из-за неожиданных неполадок в радиоаппаратуре им была пропущена важная радиограмма из штаба. Когда он наладил аппаратуру, время приема было уже пропущено. В военное время за пропуск радиограммы, тем более по вине радиста, полагалось суровое наказание. Но каково же было удивление того радиста, когда через 15 минут после пропущенного времени связи эта радиограмма снова зазвучала в эфире и была им успешно принята. Через некоторое время он встретился со штабным радистом и спросил о причинах, почему радиограмма была передана два раза. Штабной радист ответил, что радиограмма была передана, как обычно, один раз. На штабной радиостанции LDE не слышали.

Во время Второй мировой войны сообщения о приеме LDE поступали от военных радистов всех воюющих сторон. В армии СССР (в других странах аналогично) была принята инструкция, обязывающая сообщать о явлении LDE. Считалось, что LDE — это «игра» немцев. В армии Германии считали, что LDE — это «игра» русских... Но военные радисты воюющих сторон редко соблюдали инструкцию и докладывали по команде об этом явлении, потому что после такого доклада человек попадал на заметку соответствующих служб, в СССР — это был НКВД, в других странах — аналогичные им структуры....

Уже в настоящее время случай свел меня с одним старым американским радистом, который на протяжении многих лет дежурил на приемопередающем

центре, находящимся на американской военной базе в бывшей Западной Германии. Он мне рассказал, что во время своих дежурств он и его товарищи неоднократно принимали LDE своих служебных радиопередач. Считалось, что это проделки русских и что они по непонятным причинам ретранслируют их служебные радиопередачи. Советские радисты, служившие на передающих центрах Восточной Германии, в появлении LDE обвиняли, в свою очередь, американцев.

Поскольку во время Второй мировой войны сведения о явлении LDE были засекречены, то после ее окончания сообщения о LDE в научной литературе появлялись очень редко, в основном по недосмотру цензуры. Но это явление, несмотря на его «запрет», тем не менее продолжало существовать. LDE наблюдали коротковолновики-радиолюбители, слушатели DX станций, ученые при исследованиях распространения радиоволн. И, конечно, люди, которые встречались с LDE, требовали объяснений от официальной науки. Но официальная наука молчала. Исследование LDE считалось несерьезным делом. На исследовании LDE нельзя было защитить диссертацию, получить научную степень... Поэтому постепенно изучение феномена LDE деже сради официальной науки стало любительским делом, которое не отражалось в научных отчетах.

Мной в начале 1980-х годов были приняты радиосигналы коротковолновой вещательной станции, работающей в диапазоне 16 метров (BBC), с задержкой более 5 секунд. В то время я обучался в институте радиоэлектроники в городе Харькове. Естественным было и мое желание понять, что это такое и как такие сигналы могли появиться. Но на эту тему преподаватели со мной говорить отказались. Такого явления нет и не может быть, как мне было сказано...

22.4. Официальные версии появления LDE

И все же официальная наука выдвинула свою вероию о причинах существования LDE. Известно, что LDE нвблюдалось на радиоволнах с длинами, находящимися в пределах 30...13 м. Во всяком случае, я не встречал сообщений о естественных LDE, которые наблюдались ниже и выше этих частот. То есть LDE наблюдалось на частотах, способных выйти за пределы ионосферы Земли.

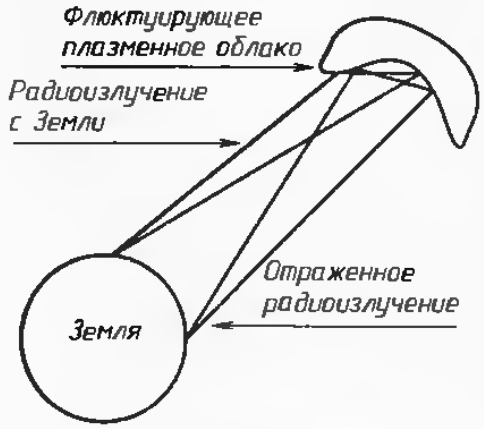


Рис. 22.1. Флюктуирующее плазменное облако

Было предположено, что в космосе возможно существование плазменного флюктуирующего облака, способного отражать радиоволны почти со 100%-ной эффективностью. Один из вариантов этой версии, в частности, приведен в источнике [7]. При флюктуациях облако может принимать формы, которые будут концентрировать и направлять радиосигналы в сторону Земли, причем даже в определенные районы Земли, как показано на рис. 22.1. Этим можно объяснить, что сигналы LDE приходят на землю с небольшим ослаблением.

К сожалению, эта официальная версия не объясняет многих фактически описанных и не подлежащих сомнению случаев LDE. При приеме LDE с отражением от плазменного флюктуирующего облака должны наблюдаться сильные искажения радиосигналов. В частности, было бы невозможно принимать разборчиво LDE от речевых сигналов, совершенно неразборчивым было бы LDE от цифровых видов связи. Однако прием сигналов LDE речи и от цифровых видов связи абсолютно разборчивы... По сообщениям наблюдавших, LDE этих видов связи по чистоте приема напоминает обыкновенный ретранслируемый сигнал, не содержащий характерных искажений, обусловленных отражением от флюктуирующих структур.

22.5. LDE и НЛО

Отсутствие четких научных версий происхождения LDE позволило выдаинуть некоторые фантастические гипотезы его происхождения. В настоящее время популярна следующая гипотеза, которую выдвинул и обосновал профессор Ronald Bracewell из Stanford University, USA, и астроном Duncan Lunan, Scotland [8]. Отложив по осям *X* и *Y* силу первого принятого Jorden Halls в 1927 году эхо сигнала и его задержку по времени, они обнаружили, что полученная картина напоминает вид созвездия Волопаса с Земли. Правда, с небольшими искажениями. Было рассчитано, что показанный вид созвездия на графике был виден с Земли 12 000 лет назад. На графике особо выделялась звезда из этого созвездия Epsilon Волопаса. По предположению ученых, с одной из планет звезды Epsilon Волопаса 12 000 лет назад был послвн межпланетный зонд. Подлетев к Земле и опраделив, что на этой планете есть жизнь, он занял место в космическом пространстве на эллиптической орбите, равноудаленной от Земли и Луны. Французский математик и механик Жозеф Луи Лагранж (1736—1813) ранее математически обосновал возможность существования такой орбиты [9]. Орбиту, на которой будто бы располагается инопланетная космическая станция, называют орбита Лагранжа.

Как только эта инопланетная космическая станция приняла первые узкополосные радиосигналы с Земли, она начала их ретранслировать обратно на Землю с кодировкой о своем происхождении. С течением времени сторонники этой теории возникновения LDE провели всесторонние исследования времени задержки сигналов и их силы от всех известных им официально зарегистрированных случаев LDE. По времени задержки и по мощности приема задержанных радиосигналов пытались найти некоторую закономерность, а отсюда найти полезную закодированную информацию, содержащуюся во времени зедаржки... Пытались обнаружить межпланетный зонд, используя современные средства космического наблюдения.

Но пока что эта версия (как и, впрочем, другие, менее фантастические) остается недоказанной и существует только в среде сторонников НЛО. С помощью технических средств наблюдения этот зонд обнаружен не был. Нельзя пока утверждать с полной гарантией, что была также найдена закономерность, содержащаяся во временной задержке и силе сигналов LDE. Конечно, гипотезу с межпланетным зондом нельзя исключить из рассмотрения, поскольку она научно не опровергнута.

Но все же интересно: неужели инопланетный разум не смог найти другого способа привлечь внимания землян и рассказать им о себе, как только ретранслируя задержанные по времени и различные по мощности радиосигналы земных радиостанций?

22.6. Современные эксперименты не объясняют LDE

В 1967 году эксперименты по обнаружению LDE проводили Vidmar F. R. и Crawford F. W. в Stanford University, the USA. Использовалась современная радиоаппаратура. Феномен LDE удалось подтвердить. Были обнаружены задержки радиосигналов с временами 2 и 8 секунд [10]. Однако значительно задержанные по времени LDE, от нескольких минут и более, и — что наиболее интересно — серии задержанных во времени радиосигналов, подобные тем, что наблюдались в 20-30-х годах, не были обнаружены.

Наиболее интересен тот факт, что сигналы LDE не подаержены доплеровскому эффекту и спектр частот радиосигнала не искажается. То, что сигналы LDE не подвержены доплеровскому эффекту, указывает на то, что они не могут отражаться от плазменного облака, находящегося далеко в космосе и деижущемуся с некоторой скоростью относительно Земли. Читатели, очевидно, уже знакомы с главой 21 о свистящих атмосфериках. Радиосигнал, который прошел длинный путь в ионосфе-

ре Земли, обязательно терпит спектральные искажения. В случае с LDE этого нет. Следовательно, невозможно объяснить феномен LDE странностью распространения радиоволн в ионосфере Земли. Все это указывает или на наличие каких-то неизвестных нам природных явлений, способствующих LDE, или... или дает очки в руки сторонников внеземного разума...

22.7. Заключенив

Скоро пройдет 85 лет со времени официального открытия этого необычного явления. До сих пор оно научно не объяснено. Как происходит задержка радиосигналов, достигающея иногда 30 и более минут? Где в это время «ходят» эти радиосигналы? Почему они достигают Земли с малым искажениями и с малым ослаблением? На все эти вопросы нет ответа. Вернее, нет ответа официальной науки. Отвечвют на него уверенно только сторонники НЛО...

Ну что же, еще издавна человеку было свойственно приписывать явления, которые он не мог объяснить, оверхъестественным силам, в данном случае в нашем веке, космическому разуму и НЛО. Но со временем многие из этих ранее таинственных и необъяснимых явлений были объяснены вполне земными законами. Я тоже верю, что в будущем удастся объяснить это таинственное явление и в учебнике по распространению радиоволн оно будет описано без всякой мистики и на основании строгих формул. Может быть, в будущем это смогут сделать сегодняшние школьники... Главное — не бояться таинственных и необъяснимых явлений, а смело исследовать их.

А сколько таких явлений до нашего времени остается неисследованными и непризнанными, с ходу отвергнутыми как не входящие в рамки знаний официальной науки...

ЛИТЕРАТУРА

1. Jorden Hals. «The LDE.» — Nature, November. — № 3, 1928.
2. Долуханов М. П. Раопространение радиоволн. — М.: Связь, 1965. — 399 с.
3. Galle J. B. «Observations relatives a la radio-electricite et a la physique du globe». — L'Onde Electrique. — № 9 (1930). — P. 257—265.
4. Galle J. B., Talon G., Ferrie M. «Recherches relatives a la propogation des ondes radioelectriques effectueees a l'occasion de l'eclipce du 9 mai 1929». — Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, vol. 130 (1930). — P. 48—55.
5. Macvey J. W. «Whistler From Space». — London Aberland Shuman, 1973. — ISBN 0-200-72243-3.
6. Lunan D. «Interstellar Contect». — Henry Regnery Company, Chicago, 1975. — ISBN 0-8092-8258-5.
7. www.qsl.net/k3pgp/notebook/lde/ide.htm
8. www.et.presence.ndirect.co.uk
9. www.ufos.about.com/mbody.htm
10. Vidmar F. R., Crawford F. W. Long-Delayed Radio Echoes: Mechanisms and Observations // Journal of Geophysical Research, 90:1523. — 1985.

23. СВИСТЯЩИЕ АТМОСФЕРИКИ

Эта глава посвящена приему природных источников радиосигналов. Однако эти радиосигналы на слух весьма напоминают искусственные. Производят эти сигналы молнии, Солнце. Характер принимаемых сигналов может рассказать о событиях, происходящих на Солнце, о грозах, происходящих за многие тысячи километров от наблюдателя.

23.1. Что это за явление?

В статьях Гарольда Аллена [1] было дано прекрасное описание сути явления «свистящих атмосфериков». Позволю себе вкратце напомнить некоторые их главные особенности. При разряде молнии в атмосфере Земли происходит всплеск электромагнитного излучения, максимальная мощность спектра которого лежит в области частот от нескольких герц до десятков килогерц (рис. 23.1).

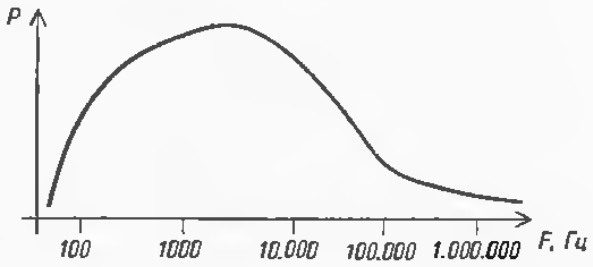


Рис. 23.1. Спектр молнии

Из-за разной фазовой скорости распространения в атмосфере и ионосфере Земли отдельных частотных компонентов спектра грозового разряда за тысячи километров от него разряд воспринимается как короткий свист. Это происходит потому, что при дельнем распространении электромагнитного излучения, созданного при разряда молнии, высокочастотные составляющие спектра этого излучения по некоторым причинам приходят быстрее, чем низкочастотные составляющие. В результате этого за много тысяч километров от грозового разряде мы принимаем короткий свист, который от высокочастотного тона переходит в низкочастотный. До тысячи километров от места возникновения электрического разряда мы примем только громкий треск.

Во время бурь на Солнце тоже можно наблюдать «свистящие втмосферики». В этом случае выбросы электромагнитной энергии с поверхности Солнце, спектр которых лежит в широкой полосе частот, при подходе к нашей планете попедают в ионосферу Земли. В ней с низкочастотным электромагнитным спектром происходит то же самое, что и с энергией грозового разряда, происходит разложение спектра сигнала. Солнце во время бурь генерирует сразу множество пачек электромагнитной энергии. Вследствие этого отклик от солнечных бурь в сверхнизкочастотном приемнике на Земле принимается как короткие множественные свисты, напоминающие пение птиц.

Спектр молнии (или другого электромагнитного низкочастотного всплеска), принятый на радиоприемник при значительном удалении от его происхождения (вторжения в ионосферу Земли), обычно квалифицируют по трем группам слышимости в наушниках приемника [2].

Сферики (sferics). Это импульсный сигнал, излученный молнией и принятый на расстоянии примерно до тысячи километров от нее. Сферики аналогичны обыкновенным трескам. Электромагнитное излучение, созданное молнией, распространяется поверхностной волной вдоль поверхности Земли. В точку приема одновременно приходят все составляющие спектра молнии.

Твиксы (tweeks). Твиксы — это сферики, которые при своем распространении проходят значительный путь в ионосфере Земли. В результате этого происходит дисперсия сигнала, выражающаяся в том, что высокочастотные составляющие в ионосфере распространяются быстрее, чем низкочастотные составляющие. В результате этого на приемник мы принимаем сферик, за которым буквально сразv следует короткий (менее секунды) свист.

Свисты (whistlers). Свисты — это сферики, которые при своем распространении проходят значительный путь в ионосфере Земли. В результате этого спектр сигнала, производимого молнией, терпит еще большую дисперсию по сравнению с твиксами. Свисты длятся более одной секунды. В некоторых случаях перед свистом идет прием сферика и твикса.

В этой главе используется общее название «свистящие атмосферики» для сфериков, твиксов и свистов.

23.2. История обнаружения «свистящих атмосфериков»

Спектр «свистящих атмосфериков», которые происходят как от грозовых разрядов, так и от солнечных магнитных бурь, лежит в диапазоне радиочастот 0—10 кГц. Поэтому эти сигналы могут быть восприняты на слух с помощью простого усилителя низкой частоты, к которому подключена соответствующая антенна.

Впервые «свистящие атмосферики» были обнаружены в конце XIX века на телеграфных линиях связи. Иногда для быстрой передачи сообщений между операторами различных телеграфных станций на одной телеграфной станции в линию включали микрофон, а на другой в линию включали телефон, как упрощенно показано на рис. 23.2. И бывало, что вместе с голосом оператора и шумом угольного микрофона другой телеграфной станции в наушниках были слышны необычные короткие свисты. В то время им не придавали особого значения. Эти свисты относили к фантазии операторов телеграфных станций и неисправностям аппаратуры.

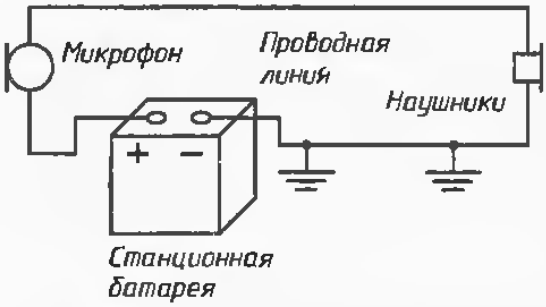


Рис. 23.2. Использование телеграфной линии для телефонной связи

Но действительно очень интересно, как в те далекие времена (1876—1900) могли быть услышаны эти свисты? Ведь мощность сигналов «свистящих атмосфериков» очень небольшая и составляет всего лишь микроватты. Во время связи между телеграфными станциями не использовались никакие усилители.

Электромагнитные излучатели, которые использовались в конце XIX века, были низкочувствительными, их частотная характеристика была очень плохой. Даже простая человеческая речь этими телефонами воспроизводилась с большими искажениями! Только в начале XX века с развитием технологии изготовления тонких медных проводов с лаковой изоляцией и с развитием технологии изготовления магнитных материалов была достигнута высокая чувствительность электромагнитных излучателей и их хорошие частотные свойства при передаче человеческой речи.

Поэтому-то скептики и задают вопрос, как в то время, на такой примитивной аппаратуре телеграфисты могли услышвть слабые сигналы «свистящих атмосфериков».

Считается, что телеграфистам тех времен наблюдать «свистящие атмосферики» помогли резонансные явления в телеграфных линиях. Большая протяженность воздушных проводных линий (прекрасная приемная антенна!) в XIX веке, включенные в линии электромагнитные реле телеграфных аппаратов привели к тому, что некоторые телеграфные линии имели собственный резонанс на частотах спектра «свистящих атмосфериков» — 100...10000 Гц. В этом случае даже простая аппаратура XIX века позволялв наблюдать это природное явление, используя несовершенные низкочувствительные телефоны. Позже, в XX веке, когда телеграфные линии опутали всю планету, резонансные явления доставляли телеграфистам много хлопот.

Гипотезу о резонансных яалениях в телеграфных линиях при приеме «свистящих атмосфериков» подтверждает еще то, что на некоторых телеграфных линиях тех времен был возможен регулярный их прием, а на других линиях «свистящие атмосферики» никогда не слышали.

Большую роль при приеме «свистящих атмосфериков» могло сыграть и расположение телеграфных проводов, которые образовывали антенну с диаграммой направленности, имеющей максимум в направлении прихода «свистящих атмосфериков» от очага их возникновения. Следует также заметить, что в те, уже далекие для нас времена XIX века, на Земле не было электрических сетей передачи

переменного тока, которые сейчас опутывают нашу планету и дают сильнейшие наводки переменного тока на всевозможную аппаратуру. Питание электротехнической и радиотехнической аппаратуры осуществлялось от электрохимических источников тока. Никола Тесла только в конце XIX века изобрел генератор переменного тока, эра постройки электростанций и передачи тока по поверхности Земли по проводам тогда только начиналась.

Это были удивительные времена чистого эфира, в котором, кроме грозовых разрядов, ничего не было! Слух и зрение наших предков не были испорчены громкой музыкой и компьютерными играми, что позволяло им даже с помощью слабочувствительных телефонов услышать сигналы «свистящих атмосфериков».

Другой этап в приеме «свистящих атмосфериков» наступил в начале XX века, когда в мире стали широко использовать радиосвязь. Громадная антенна, которая использовалась на первых радиостанциях, и подключенный к этой антенне усилитель низкой частоты вместе прадставляли собой практически идеальный приемник для наблюдения «свистящих атмосфериков». Отсутствие в эфире фона переменного тока еще более способствовало приему слабых сигналов «свистящих атмосфериков». Именно в то время эти таинственные сигналы получили официальное признание. Началось изучение и наблюдение за «свистящими атмосфериками». Это сыграло свою роль в изучении распространения радиоволн.

Позже, в 20—30-е годы, был расцеет регенеративных приемников (которые, сыграв свою роль, вымерли, подобно динозаврам). Некоторые одноламповые конструкции регенеративных приемников по сути дела представляют собой обычный усилитель низкой частоты и поэтому позволяют проводить наблюдения за «свистящими атмосфериками».

23.3. Прием «свистящих атмосфериков» в городе

Мои первые наблюдения за «свистящими атмосфериками» были сделаны в 70-е годы с использованием регенеративного приемника. В то время я только начал заниматься радиолюбительством и ничего не знал о существовании «свистящих атмосфериков», поэтому не обратил внимания на эти странные короткие свисты, которые иногда возникали в наушниках.

Позже, во время учебы в институте, я смог прочитать об этом явлении в различной литературе и мне захотелось повторить свои первые опыты по приему «свистящих атмосфериков». К сожалению, это долгое время оставалось только нереализованным желанием. В 2001 году, после прочтения статей Г. Аллена и после «хождения» на различные сайты в Интернете, посвященных этому явлению, моя идея материализовалась.

На первый взгляд кажется, что нет ничего проще, чем принять сигналы «свистящих атмосфериков». Приемник для наблюдения за ними представляет собой простой усилитель низкой частоты с включенной на его входе антенной, как показано на рис. 23.3. Но все дело в том, что эта простая схема в современных условиях города практически не работает! Из-за плотного расположения в городе линий передачи электрического напряжения простой приемник, кроме фона переменного тока, ничего принимать не будет.

Несколько улучшить прием «свистящих атмосфериков» в моих экспериментах помогло использование магнитной антенны на входе приемника (рис. 23.4). Магнитная антенна прадставляет собой от нескольких десятков до нескольких сотен витков мадного провода диаметром 0,2 мм, намотанного на деревянную крестовину размерами 50×50 см. С магнитной антенной в городе можно было выбрать место приема с наименьшим уровнем фона, но и качественный прием «свистящих атмосфериков» был невозможен.

Рис. 23.3. Блок-схема приемника «свистящих атмосфериков»

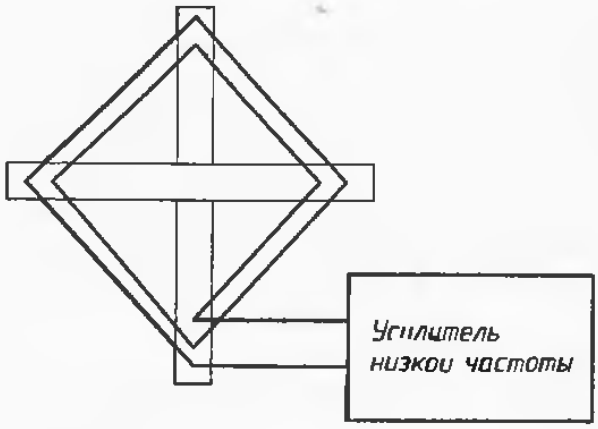


Рис. 23.4. Магнитная антенна на входе приемника «свистящих атмосфериков»

В качестве усилителя низкой частоты я использовал самодельные селективные усилители с батарейным питанием, которые ослабляли частоту 50 Гц до –30 дБ. Однако мне было интересно сконструировать простую, легко повторяемую конструкцию приемника сверхнизкочастотных сигналов, которую мог бы собрать любой радиолюбитель. Те усилители низкой частоты, которые я собирал, были сложны в настройке и конструкции. Это вело к тому, что было невозможно рекомендовать их для повторения другим радиолюбителям.

23.4. Простой сверхнизкочастотный приемник

Для усилителя низкой частоты простого сверхнизкочастотного приемника я решил использовать усилитель низкой частоты от старого плеера с трехвольтовым питанием. Сразу была решена проблема с корпусом приемника, с выключателем питания, отсеком для батарей питания и разъемом для подключения наушников, так как это все уже было в конструкции плеера. Для экономии расхода элементов питания я отключил электродвигатель плеера. От магнитной головки плеера был сделан отвод. К этому отводу был подключен низкочастотный П-фильтр, как показано нв рис. 23.5.

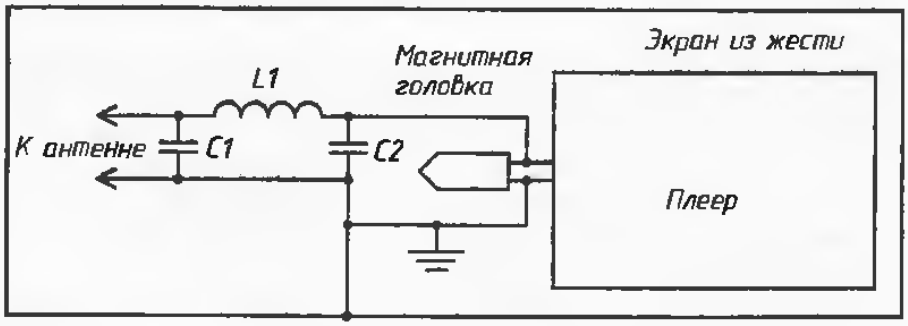


Рис. 23.5. П-фильтр на входе приемника-плеера

В качестве катушки индуктивности *L1* была использована старая катушка номиналом 500 мкГн. Эта катушка была расположена в медном луженом корпусе.

Очевидно, ранее она использовалась в старой военной аппаратуре. Конденсаторы *C1* и *C2* были емкостью по 0,068 мкФ. Эти конденсаторы должны иметь малые потери на высоких частотах для того, чтобы эффективно блокировать наводки мощных радиостанций, которые через антенну проникают на вход усилителя низкой частоты. Конструкция приемника была расположена в круглой жестяной банке из-под чая. Эта банка обеспечивала жесткость, позволяла удобно переносить приемник и хранить наушники и запасные элементы питания. Фильтр был расположен внутри этой жестяной коробки около плеера. «Земля» конденсаторов и «земля» плеера было припаяна в одной точке к этой коробке.

Работа этого приемника в городских условиях показала, что он вполне был способен принимать сигналы сверхнизкочастотного диапазона волн. Даже удалось принять «свистящие атмосферики» нескольких солнечных бурь, которые были в апреле 2001 года. Совместно с этим приемником были использованы магнитная рамочная и короткая вертикальная антенны.

Но в города этот приемник не мог реализовать всех своих возможностей. Сильнейшие наводки переменного тока на антенну вели к необходимости тщательного выбора месторасположения антенны приемника и не позволяли полностью реализовать его чувствительность.

23.5. Прием «свистящих атмосфериков» на Ай-Петри

Только далеко за городом можно было реализовать возможности этого приемника по наблюдению за «свистящими атмосфериками». В мае 2001 года я взял с собой этот приемник на Ай-Петри, куда UR-QRP-C совершал QRP-экспадицию. Большая высота Ай-Петринского плато над уровнем моря, каменистые горные породы, отсутствие близко расположенных линий электропередач — все это должно было служить идеальным местом для работы этого простого приемника сверхнизкочастотного диапазона.

В первые дни работы на Ай-Петри нашей QRP-экспедиции у меня не было времени заняться его испытаниями. Но на третий день нашего пребывания на Ай-Петринском плато около 11 часов ночи я взял приемник и вышел с ним на плато. На одном из высоких мест Ай-Петринского плато был установлен геодезический знак, так называемый Ай-Петринский меридиан. Я решил проводить испытания приемника рядом с ним. Это было сделвно по следующим причинам.

Во-первых, это была одна из высоких точек плато, расположенная недалеко от места пребывания нашей QRP-экспедиции. Во-вторых, Ай-Петринский меридиан был значительно удален от всех расположенных на плато источников переменного тока, которые вызывают значительные помехи сверхнизкочастотному приему. Это должно было обеспечить чистую работу приемника. В-тратьих, к Ай-Петринскому меридиану шла хорошая тропинка от нашего расположения. Это позволяло не заблудиться на плато даже в случае быстрого ухудшения видимости. Такие случаи на плато бывают часто. Человек может отойти буквально на 10—20 метров от жилья, за считанные секунды садится облако и уже невозможно ничего увидеть вокруг себя. В-четвертых, с этого места открывался замечательный вид внизу на ночное побережье, праеда, в те редкие минуты, когда происходил разрыв в облаках, расположенных ниже.

Итак, на платформе Ай-Петринского меридиана мной был развернут приемник. Для изготовления антенны приемника я взял с собой катушку провода диаметром 0,5 мм и длиной, наверное, метров 200. Первоначально для подключения к приемнику была установлена антенна длиной 10 метров, как показано на рис. 23.6. Эта антенна просто лежала на камнях плато.

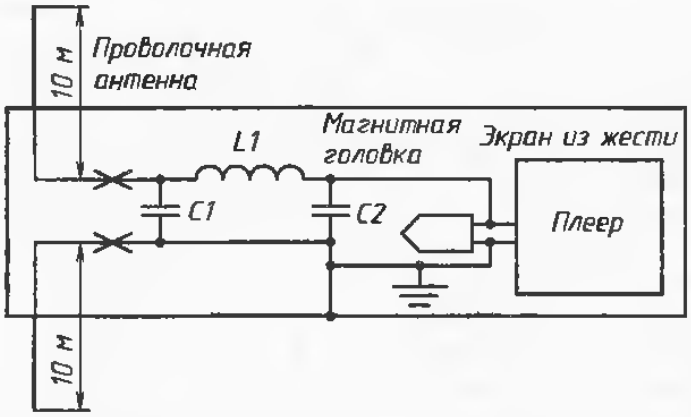


Рис. 23.6. Однопроводная антенна приемника

Затем я надел наушники, включил питание плеера, подключил антенну — и... Моя первая мысль была та, что мой приемник не работает. В города подключение на вход приемника куска провода длиной даже 1 метр, вызывало в наушниках приемника сильнейший фон переменного тока. На Ай-Петри подключение антенны на вход приемника вызвало лишь сухой щелчок. Но затем я услышал то, что не мог услышать (и, наверное, вряд ли смогу) в города: настоящие шумы низкочастотного диапазона, глубокие и в то же время какие-то прозрачные, трески далеких грозовых разрядов, шуршание космического излучения.

Необходимо самому услышать эти шумы, чтобы понять, как они невероятны и таинственны и как значительно они отличаются от тех шумов, которые мы слышим в городе на нашем приемнике. Но и в этих горных, идеальных для приема, условиях неожиданно проявилась помвха, которой просто не могло быть в городе. Примерно в 15 километрах от нашей экспадиции на гора Бедене-Кыр работали радиолокационные станции обзора моря и воздуха. Еще одна радиолокационная станция находилась примерно в 10 километрах от нвс. Антенны этих радиолокационных станций находились под огромными шарообразными куполами. Купола были действительно огромными, судя по тому, как они выглядели даже на большом расстоянии от них.

Я уверенно принимал «журчание» локатора в течение нескольких секунд, когда его диаграмма направленности была направлена в мою сторону. Работали два радиолокатора, один из них был дальнего обзора. Его «журчание» проходило примерно с периодом 6 секунд. Другой локатор был ближнего обзора. Он включался периодически, очевидно, по мере необходимости ближнего обнаружения объекта, и его журчание проходило примерно с периодом 2—3 секунды. Но работа радиолокационных станций совершенно не мешала приему сверхнизких частот. Было даже интересно наблюдать на фоне сигналов низкочастотного эфира за работой радиолокационных станций.

Но получить удовлетворительные результаты с короткой проволочной антенной оказалось невозможным делом. Для успешной работы однопроводной антенны необходимо хорошее заземление. Осуществить его в горных условиях было невозможно — повсюду камни. Использование нескольких противовесов равных по длине самой антенне только немного улучшило прием. В этом случае в горных условиях эффективно могла работать только рамочная антенна. На камнях Ай-Петринского плато была растянута одновитковая рамочная антенна примерно 30 метров диаметром. Подключение рамочной антенны к приемнику показано на рис. 23.7. Эта рамочная антенна просто лежала на камнях.

После подключения рамочной антенны ко входу приемника его работа значительно изменилась в лучшую сторону. Низкочастотные шумы эфира сразу значительно увеличились. Именно с рамочной антенной мной были приняты «свистящие атмосферики» на плато Ай-Петри. Это непередаваемо, это надо слышать! Такого громкого, четкого и ясного приема этого явления я не слышал внизу, в городе. Это действительно интересно и затягивает не менее, чем любительское радио. Вслушиваешься в шум эфира и ждешь, когда же наконец будут слышны «свистящие атмосферики» и по характеру их звучания стараешься угадать их происхождение.

Таинственная атмосфера Ай-Петринского плато еще более подчеркивала тайну этого явления.

Но при использовании рамочной антенны появился незначительный фон переменного тока 50 Гц. Он был гораздо меньше, чем в городе, и не мешал приему, но все же он был. Фон переменного тока было возможно немного уменьшить, ориентируя рамку на плато по его минимуму. Но полностью избавиться от фона мне не удалось.

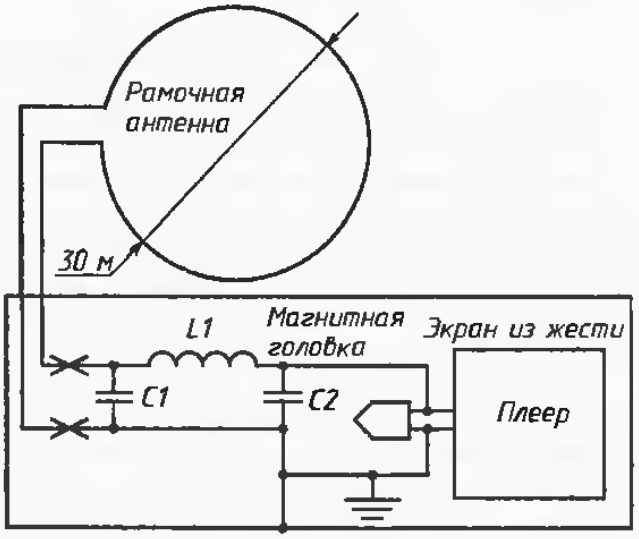


Рис. 23.7. Рамочная антенна приемника

В городе я привык наблюдать за «свистящими атмосфериками» только глубокой ночью, когда отключено большинство электрических приборов. Из-за сильных помех в городе, которые производят различные электроприборы, в дневное и вечернее время включать сверхнизкочастотный приемник бесполезно.

Оказалось, что в горах возможно наблюдать за «свистящими атмосфериками» даже днем. Отсутствие на плато помех со стороны электрических приборов позволило мне это осуществить. Еще немаловажный фактор в пользу приема «свистящих атмосфериков» днем на Ай-Патринском плато — это хорошая видимость. Следовательно, пребывание на плато в данном случае гораздо безопаснее, чем ночью. Это позволяло мне уходить сравнительно далеко в горы, растягивать рамочную антенну над горным обрывом и слушать низкочастотный эфир. Грозы бушуют на нашей планете круглые сутки, всплески солнечных бурь приходят на Землю постоянно. Поэтому мне удалось слышать «свистящие атмосферики» как днем, так и ночью.

Можно сказать, что мой опыт приема «свистящих атмосфериков» в горах удался. Приемник, выполненный на основе плеера, оказался работоспособным в горных условиях. Теперь я с нетерпением жду, когда снова окажусь вдали от города, вдали от индустриальных помех и смогу послушать низкочастотный эфир!

ЛИТЕРАТУРА

1. Harold Allen, W4MMC. Natural ELF—Whistler Radio. Part 1, Part 2. http://www.antennex.com/library/archiv-III.

2. Science @ NASA/ Earth Songs. http://science/nasa/gov/headlines/y2001/ast19jan_1.htm.

24. ПЕРВАЯ ТРАНСОКЕАНСКАЯ РАДИОСВЯЗЬ

В 2002 году исполнилось 100 лет со дня проведения первой трансокеанской связи, установленной итальянским радиотехником и предпринимателем Г. Маркони (1884—1937). В советской литературе это событие освещено очень слабо, более того, иногда даже подвергали сомнению, действительно ли такая связь была установлена. Но эта связь все же была проведена, при ее проведении присутствовал не только сам Маркони, но и другие наблюдатели, которых нельзя заподозрить в сговоре с ним. Давайте восстановим в памяти события тех лет и

рассмотрим обстоятельства, при которых эта связь была установлена, и почему она была установлена именно Маркони, а не другими изобретателями радио — Поповым или Теслой.

24.1. Первые изобретатели радио

После того, как Мвркони в 1896 году официально запатентовал радио, он начал проводить широкие эксперименты по развитию радиосвязи. Основной проблемой, стоявшей перед ним в то время, являлось повышение дальности радиосвязи. Решая эту задачу, Маркони шел даумя путями. Во-первых, совершенствовал антенные системы, а во-вторых, совершенствовал приемопередающую аппаратуру. Все мало-мвльски полезные мелочи, хоть как-то улучшающие аппаратуру связи, немедленно им внадрялись. А чем же в то время занимались другие изобретатели радио — А. Попов и Н. Тесла?

Напомним, что А. Попов (1859—1906) был преподавателем в Минном офицерском классе, расположенном в Кронштадте (аналогично современному военному училищу). Попов читал лекции по «электричеству», математике, вел првктические занятия по электротехнике. Сюда можно добавить обычные преподавательские заботы. На его плечи возлагали обязанности по оборудованию физических кабинетов. Он одновременно работал над заказами Министерства флота.

Совершенствование радио не было его основной работой, но в 1900 году под руководством Попова были построены две радиостанции: одна в Гогланде, другая в Котке. Эти радиостанции были построены для проведения аварийных работ на броненосце «Генерал-адмирал Апраксин», севшего на мель. Как известно, впоследствии эти радиостанции оказали неоценимую помощь при спасении 27 рыбаков на оторвавшейся льдине. Этот случай неоднократно был описан во многих источниках, так что останавливаться на нем не будам. Хочу только добавить один малоизвестный факт. 18 впреля 1901 года А. Попову и его помощнику П. Рыбкину (1874—1948) за успешную организацию спасательных работ и за заслуги по развитию радио были вручены данежные премии: Попову в размере 30 000 рублей, Рыбкину в размере 1000 рублей [1]. В то время это были огромные деньги. Рубль до 1914 года «весил» 21 грамм серебра. На строительство даух радиостанций между Гогландом и Коткой было выделено только 10 000 рублей...

Н. Тесла (1856—1943) в то время занимался опытами по передаче энергии без проводов. Нельзя сказать абсолютно точно, каких результатов он при этом достиг. До настоящего времени большинство опытов Тесла по передаче энергии без проводов не повторены. В частности, описвние опытов по передаче энергии по поверхности Земли без проводов описано в [2]. «Усилительный передатчик» Тесла, с помощью которого он проводил опыты по передаче энергии, был им запатентован и описан в патенте (см. [3]). Но это описание не позволяет повторить практически это устройство. Многие публичные демонстрации проводимых Теслв экспериментов нвпоминали тщательно спланированные фокусы. Однако можно предположить, что если бы Твсла потратил свои силы не на исследование передачи энергии без проводов, а на разработку устройств беспроводной связи, то он тоже достиг бы больших успехов. Тем более что в средствах Тесла в то время не испытывал недостатка. Но... История распорядилась по-другому, первая трансокеанская связь была проведена не им, а Маркони. (Впрочем, сам Тесла утверждал, что в 1901 году им была установлена связь с... Марсом, что, конечно, много дальше, чем между двумя континентами Земли...)

24.2. Успехи Маркони

В то время мир нуждался в беспроводной связи с морскими судами, с различными удаленными районами Земли. В 1897 году Маркони основал акцио-

нерное общество, которое с 1899 года называется «Marconi's Wireless Telegraphy», сумел привлечь огромные средства для провадения своих исследовательских работ по радиосвязи. Огромный организаторский талант и талант ученого-практика позволили сдалать то, что многим казалось в то время невозможным.

Уже в 1899 году Маркони была установлена радиосвязь через Ла-Манш. Было перекрыто расстояние в 31 милю (56 километров). В том же году была установлена радиосвязь между береговой радиостанцией и военным кораблем на расстояние 76 миль (136 километров). С каждой новой милей, прибааленной к дальности проведенной Маркони радиосвязи, увеличивалась стоимость акций его компании (в июле 2001 года акции этой компании стоили 37 пенсов на Лондонской бирже, против пика их стоимости 1250 пенсов менее, чем даа года назад...). Попов в 1899 году смог достигнуть дальности действия радиосвязи только 30 километров...

Но, конечно, Маркони для доказательства возможности проведения дальней радиосвязи этого было мало. Были необходимы доказательства возможности осуществления мировой радиосвязи. Следует обратить внимание на то, что многие, даже известные ученые, не верили в возможность установления радиосвязи на расстояние более 200 километров. Считалось, что радиоволны распространяются подобно лучам света, прямолинейно. Хотя О. Хевисайд (Oliver Heaviside, 1850—1925) [4] уже в то время обосновал возможность наличия ионизированного проводящего слоя в верхней части ионосферы, от которого возможно отражение радиоволн, но его теорию тогда успешно громили...

24.3. Открытие слоя Хевисайда было впереди

В 1924—1925 годах американские инженеры Г. Брайхт и М. Туве провели зондироввние атмосферы. С помощью зенитных антенн был послан короткий зондирующий сигнал вертикально вверх. Затем был принят этот отраженный сигнал от слоя Хевисайда. Было открыто, что слой Хевисайда — это нестабильный слой, находящийся на определенной высоте, как считали до этого. Оказалось, что в верхних слоях атмосферы находятся нескопько слоев, способных отражать радиоволны. Эти слои нестабильны по проводимости, их высота может меняться, и от их свойств зависит прохождение радиоволн на планете Земля.

Другой показательный эксперимент провела группа английских радиоинженеров из Кембриджского университета в 1925 году. Были сконструированы антенны, имевшие острую направленность и, следовательно, позволявшие определить направление прихода сигналов. С помощью этих антенн принимали сигналы передатчика средних волн, находившегося на удалении около 400 километров от приемных антенн. Антенны ясно показывали напрааление прихода сигналов — они приходили сверху, от ионосферы. Так еще раз быпо подтверждено наличие проводящего слоя в верхних слоях атмосферы...

24.4. Подготовка к первой трансатлантической связи

Но все это было еще впереди. А в 1901 году доказательств существования слоя Хевисайда еще не было. Поэтому недо было обладать известной смелостью Маркони, чтобы начать опыты по проведению трансокеанской связи. На карту было поставлено слишком многое... Можно было бы пойти по другому, легкому пути, и постепенно, миля за милей, наращивать дальность радиосвязи. Но для Маркони этот путь был неприемлем, он хотел сразу доказать безграничные возможности радио. Подготовка к проведению этой грандиозной акции заняла немало времени. Маркони установил дае приемопередеющие станции. Одна была расположена в США, в Wellfleet, Cape Cod, Massachubetts, другая в Poldhu, Cornwall, Nova Scotia.

На передающей станции, расположенной в Poldhu, использовалась грандиозная коническвя антенна. Она состояла из 20 мачт, каждая из которых была 61 м

высотой, расположены они были кругом, имеющим диаметр 61 м. Эти мачты удерживали 400 (!) проводников, которые составляли перевернутый конус. Проводники были изолированы друг от друга на вершинах мачт и соединены вместе в вершине конуса.

Но прошедшими ураганами антенны обеих этих станций были разрушены. Может быть, кто другой и отступил бы, но только не Маркони! Маркони принял решение не откладывать эксперименты по установлению трансатлантической радиосвязи. Приемную аппаратуру из США Маркони перенес в Канаду, в St. John's Newfounland. На передающей станции, расположенной в Poldhu, была построена новая передающая антенна. Конечно, в этом случае возможна была только односторонняя радиосвязь. Но даже это могло бы доказать преимущества радиосвязи. При расположении приемной станции в Канаде расстояние между приемником и передатчиком уменьшилось и это давало Маркони уверенность в возможности установления трансатлантической радиосвязи.

В разных литературных источниках приводят несколько отличающиеся друг от друга сведения о конструкции передающей антенны, используемой Маркони для первой связи через Атлантический океан. Но принято считать, что это была так называемая Fan antenna, которая представляла собой 54 провода, натянутых в форме треугольника и разделенных изоляторами через 1 м. Две мачты, удерживающие всю эту конструкцию, были высотой 46 м. Использовались укороченные мачты от старой поверженной антенны.

На этих станциях в Канаде и США была установлена самая современная для того времени аппаратура. На передающей станции использовался искровой передатчик конструкции Флеминга, который был, как утверждал сам Флеминг: «в 100 раз мощнее самого мощного ранее используемого Маркони передатчика». Схема передатчика, используемого для первой трансокеанской связи, приведена на рис. 24.1. Это собственноручный рисунок, сделанный Флемингом... Длина волны, используемая для первой трансокеанской радиосвязи, была предположительно равна 366 м [5]. В то время еще не было точных волномеров и длина волны передающей радиостанции измерялась косвенно. На приемной станции, которая располагалась в St John's, Newfounland, был использован когерерный приемник. В следующей главе мы подробно остановимся на вопросе определения истинного значения длины волны передатчика, расположенного в Poldhu.

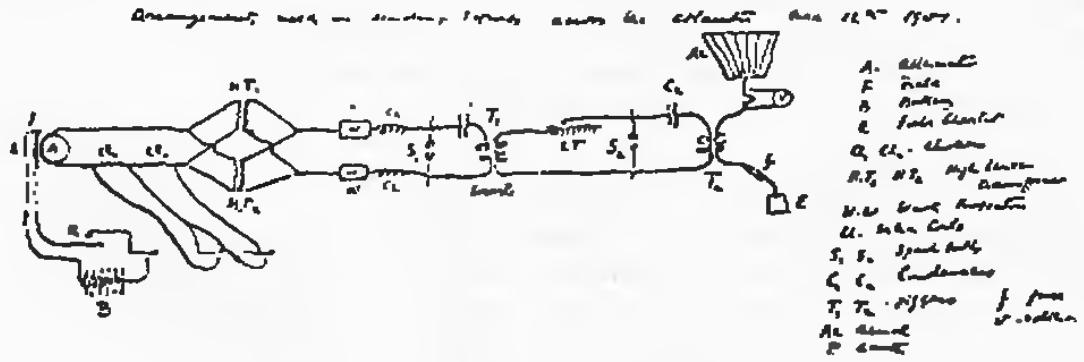


Рис. 24.1. Схема передатчика Флеминга (рукопись)

Конечно, для XXI века искровый передатчик и когерерный приемник, используемый Маркони для первой трансокеанской связи, выглядят несколько смешно и трогательно. Но в то время это был верх совершенства!

24.5. Первая трансатлантичвская радиосвязь

На приемную станцию, расположенную в St. John's, Newfounland, Маркони с двумя ассистентами, англичанами Kemp и Paget, прибыл 6 дакабря 1901 года. В устье бухты, в старых казармах Signal Hills, был оборудован приемный пункт. Несколько дней заняли последние приготовления. 10 декабря Маркони пытался поднять приемную антенну с помощью огромного шестиугольного змея длиной 2,7 метра. Змей был сделан из бамбуковых палок, обтянутых шелковой материей. Но сильный ветер порвал веревку, державшую змея, который затем упал в мора. Следующая попытка поднять приемную антенну, предпринятая 11 дакабря, тоже была неудачной. Для подъема антенны Маркони пытался использовать надутый водородом шар диаметром более четырех метров. Сильный ветер порвал веревку, удерживающую этот шар, и он скрылся в тумане нвба Канады. Но Маркони не сдается. 12 декабря он повторяет попытку поднять антенну на водородном шаре, использовав для его ударжания более крепкую веревку. Шар поднялся вверх на 120 метров и удерживался с помощью прочной веревки.

Немедленно по проволочному телеграфу на передающую станцию, расположенную в Poldhu, Cornwall, Nova Scotia, было передано сообщение, что приемная станция готова к работе. Передача началась в 11.30. Практически сразу Маркони принял переданные из Новой Шотландии сигналы: три точки, буква «S».

Было перекрыто с помощью радио, без проводов 3500 километров! Через два дня Маркони опубликовал в прессе результаты своих экспериментов. Гвзеты всего мира разнесли (пока с помощью проводного телеграфа) эту сенсацию. Земная цивилизация вступила в другую эпоху — в эпоху радио. Тысячи и тысячи новых энтузиастов начали проводить исследования в области радио. На радиосвязь обратили серьезное внимание правительства многих стран мира. Акции компании Маркони резко пошли вверх, и он смог привлечь новые средства для продолжения своих исследований.

24.6. Сколько это стоило

Стоимость оборудования совместно с другими затратами на проведение первой трансатлантической радиосвязи составили 200 000 долларов в ценах 1901 года [6]... Сумма по тем временам невероятно огромная. И эта сумма была затрачена на передечу всего лишь трех точек, которые в телеграфном коде составляют букву «S». Почти 70 000 долларов за одну «точку». Пожалуй, это была самая дорогая радиограмма в мире.

24.7. А в это время в других странах...

Россия. В 1901 году максимальная дальность радиосвязи, достигнутвя А. Поповым, при проведении его опытов на Черном море, составила 150 км...

США. Другой изобретатель радио, Никола Тесла, заявил, что в 1901 году им установлена и поддерживается регулярная радиосвязь с Марсом, откуда он получает инструкции для своей дальнейшей научной работы...

24.8. Post scriptum

В 1933 году была воздвигнутв колонна в Poldhu в честь установления первой трансокеанской радиосвязи. Каменнвя колонна как бы окончательно завершила один из этапов развития человечества в области радиосвязи.

Сейчас можно прочитать материалы, подвергающие сомнению, что 12 декабря 1901 года Маркони действительно была установлена первая трансатлантическая

радиосвязь. Мол, и время, и частота работы передатчика были неподходящими для этого, да и точки Маркони мог принять за трески эфира. И почему он передавал точки, а не смысловое сообщение...

Что можно ответить? Почему не первдал смысловое сообщение — так это в то время Маркони не было нужно. Ему был важен сам факт приема радиограммы. Флеминг форсировал режимы работы передатчика для получения максимальной мощности, и система питания передатчика не выдерживала длинных тире. Впрочем, уже в начале 1902 года Маркони предложил использовать его радиостанцию, расположенную в Poldhu, для постоянной связи между Канедой и Новой Шотландией как альтернативу проволочной связи, когда монополист проводной связи через Атлантический океан компания Anglo—American Telegraph решила поднять цены за телеграммы, переданные по кабелю лежащем на дне океана.

В сладующей главе мы подробно рассмотрим аргументы противников и сторонников первой трансатлантической связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.radio.uralregion.ru/index.htm
2. Архипов О. Л. Опыты Н. Тесла по передаче энергии по земной поверхности // Радиоаматор. Конструктор. — 2001. — № 1. — С. 26.
3. http://pages.prodigy.net/onichelson
4. http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/Heawiside.html
5. Willams H. «Marconi and his wireless stations in Wales». Carreg Gwach. — 1999. – P. 110. — ISBN: 0-86381-536-7
6. «Guglielmo Marconi»: into: «Technology's Past» // Prakken Publication Inc. — P. 184—186.

25. ЗАГАДКА МАРКОНИ

Прошло более ста лет с момента установления Маркони первой трансатлантической связи. За это время на нашей планете свершилось множество грандиозных событий, кардинально изменивших ход мировой истории. Радиотехника за эти сто лет прошла такой путь, о котором в начале XX века никто, даже самые смелые фантасты, не могли и мечтать. Освоен широкий диапазон электромагнитных волн, который простирается от долей герца до сотен гигагерц. Изобретены различные немыслимые в начале XX века виды модуляции. Приняты сигналы от искусственных космических спутников, находящихся за многие сотни миллионов километров от Земли. Радиоаппаратура нвчала XX века выглядит перед современным человеком просто смешной и нелепой.

Но до сих пор продолжается в общем-то бессмысленный спор, который начался еще 15 дакабря 1901 года, когда Маркони опубликовал сообщение о своей первой трансатлантической связи. Спор о том, а была ли действительно проведена эта связь?..

25.1. Спор через века

Действительно, среди специалистов возникает много вопросов, относящихся к различным моментам проведения первой трансатлантической связи. Многие из этих вопросов вызваны тем, что радиоаппаратура начала XX века была крайне несовершенна. Вследствие этого Маркони трудно было определить многие технические характеристики используемой им аппаратуры. Очевидно поэтому сам Маркони и его помощники, участвовавшие в проведении первой трансатлантиче-

ской связи, в разное время приводили противоречащие друг другу сообщения о технических данных радиоаппаратуры, используемой ими в этом эксперименте.

Давайте же вместе попробуем, насколько это сейчас возможно, непрадвзято разобраться в основных доводах, приводимых противниками и сторонниками установления первой трансатлантической связи и передачи при этом самой дорогой в мира первой радиограммы, или *марконограммы*, как еще много лет подряд называли сообщения, переданные с помощью радио. После этого читатель сам сможет решить, к сторонникам или противникам установления первой трансатлантической связи ему присоединиться.

25.2. Передатчик Флеминга

Давайте рассмотрим передатчик, который использовался на передающей станции в Poldhu для проведения этой связи. Прежде всего нас интересуют такие его параметры как мощность и частота работы. Но как раз эти, наиболее важные для нас параметры, до настоящего врамени достоверно неизвестны.

До сих пор точно неизвестна высокочастотная мощность в антенне, которую обеспечивал передатчик, расположенный в Poldhu. Измерение высокочастотной мощности, особенно ее больших уровней, даже в настоящее время представляет сложную зедачу. В начале XX века точно измерить мощность передатчика было просто невозможно. В качестве примера можно привести передатчик, предназначенный для регулярной трансатлантической связи, который вступил в строй в 1907 году. Его мощность оценивалась разными специалистами от 100 до 300 кВт [1]! Разброс мощности почти в три раза!

Мощность передатчиков в то время определялась приблизительно, на основании показаний многих приборов. Конструктор передатчика в Poldhu А. Д. Флеминг (1848—1945) определил мощность своего передатчика в 25 000 Вт [2]. Следует заметить, что Флеминг в то время был одним из опытнейших конструкторов передатчиков в мире, и его оценка мощности сконструированного им передатчика заслуживает доверия.

Сам Маркони всячески уклонялся от ответов о величине мощности и о значении частоты работы передатчика в Poldhu. Очевидно, он понимал, что его ответы на эти вопросы являются спорными. В одной из своих лекций, посвященной тридцатилетнему юбилею этой связи, которую Маркони читал в начале 30-х годов, он сказал, что мощность передатчика, используемого им для проведения первой трансатлантической связи, была равна 15 кВт [3]. Обратите внимание, что это было сказано по прошествии 30 лет после провадения первой трансатлантической связи. Это заявление было сделано уже многоопытным человеком, имеющим огромный опыт в конструировании радиопередающих систем. По всей видимости, реальная мощность передатчика в Poldhu находилась между тем уровнем мощности, который определил Флеминг, и тем уровнем мощности, который назвал Маркони.

25.3. Длина волны передатчика Флеминга

Вторую, наибольшую для нас загадку представляет длина волны, на которой работал передатчик в Poldhu. Сам Маркони обычно предпочитал упорно уклоняться от ответа на этот вопрос. В рвзное время, в разных лекциях, посвященных провадению первой трансатлантической связи, Маркони и его помощниками были названы несколько длин волн, на которых, как прадполагалось, работал передатчик в Poldhu. Флеминг в своей лекции, посвященной проведению первой трансатлантической связи, которую он прочитал в 1903 году, сказал, что длина волны, на которой работал его передатчик, была равна 304,8 м. Маркони в своей лекции, которую он читал в Royal Institution в Англии в 1908 году, определил длину волны передатчика в 365,8 м. Но гораздо позже, в лекции, посвященной юбилею про-

вадения первой трансатлантической связи, он уже говорил, что длина волны передатчика Флемминга была равна 1800 м (166 кГц) [3].

Гда же истина? Какая цифра правильная? Как ни странно, никакая. Маркони не была названа реальная длина волны (частота) работы передатчика, расположенного в Poldhu. Почему? Можно предположить, что точная частота работы передетчика дайствительно была неизвестна и самому Маркони. По прошествию времени он просто вносил в предполагвемую частоту работы этого передетчика коррекции, основываясь на своем приобретенном опыте проведения дальних связей.

Мы можем предположить, что Флеминг действительно рассчитывал свой передатчик для работы на длине волны, равной примерно 300 м, как он тогда утверждал. Но ни Флеминг, ни Маркони в то время не могли прадположить, что выбор длины волны 300 м был крайне неудачным для проведения трвнсатлантической связи в дневное время. Волны с этой длиной испытывают значительное поглощение при дневном распространении в слое ионосферы D. В результате этого установление дальней связи при использовании радиоволны этой длины маловероятно.

Это дало в руки противников проведения первой трансатлантической связи серьезные аргументы, позволяющие поставить под сомнение проведение этой связи. Вероятно, именно по этой причине, в 30-х годах Маркони «заменил» спорную длину волны 300 м на «более подходящую» для установления трансокеанской радиосвязи длину волны 1800 м (166 кГц) [3]. Радиоволны с этой частотой способны отражаться от слоя D в дневное время. Вследствие этого на такой длине волны вполне могла быть проведена трансатлантическая связь в дневное время.

А все же какая в действительности была частота работы передетчика в Poldhu?

Ну что же, наше поколение радиотехников успешно справилось с решением этой загадки. В первых искровых передатчиках частота их работы полностью определялась частотой настройки антенной системы этих передатчиков на первый четвертьволновый резонанс. Сразу сладует обратить внимание, что при такой схеме построения искрового передатчика исключалась работа его выходной цепи на высокочастотных гармониках антенны, так как jigger выходной цепи настраивался в резонанс с антенной системой.

Конструкция антенной системы была известна. Конструкция катушек, используемых в выходной цепи передатчика, которые влияли на резонанс антенны, тоже в общем-то была известна. Далее, на основании знаний о размерах антенны и о конструкции выходной цепи передатчика, была определена частота четвертьволнового резонанса, на которой работала антенна система, и, следовательно, была определена частота передатчика, используемого для первой трансатлантической связи [4]. Оказалось, что при этом методе расчета частота работы передатчика Маркони находилась около 500 кГц (при рвсчете получилось 511 кГц).

Что же, была успешно решена загадка, заданная нам Маркони, была определена частота работы передатчика.

Хотя... Указанное здесь значение частоты передатчика тоже предстааляет собой спорный вопрос. Расчет частоты базировался на описании конструкции антенны передающей станции в Poldhu. Но возникают серьезные сомнения в том, что антенна, которая была использована для проведения первой трансатлантической радиосвязи точно соответствует описанию, данному в главе 24. В реальности оригинальная антенная система уже через несколько месяцев после провадения первой трансатлантической связи была заменена другой антенной. Даже знаменитая фотография этой внтенны, опубликованная в литературе, посвященной проведению первой трансатлантической связи, очевидно, является подделкой [4]...

Но остались еще другие загадки, до конца не разгаданные до сих пор. Обратимся же к ним...

25.4. Приемник Маркони

До настоящего времени абсолютно точно неизвестно, какой приемник использовал Маркони на приемной станции в Канаде. Достоверно известно, что Маркони первоначально хотел использовать для приема сигналов в St. John's, Newfounland приемник с настроенными входными цепями. Схема этого приемника, который Маркони запатентовал в 1900 году, патент Великобритании № 7777 от 26 апреля 1900 года, показана на рис. 25.1.

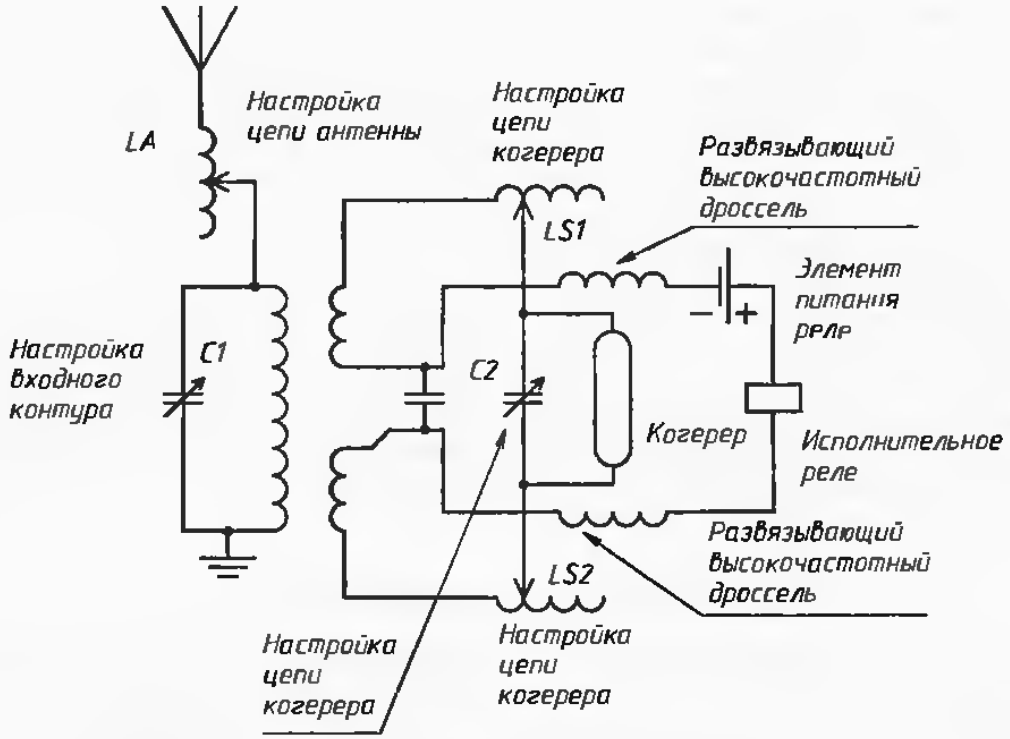


Рис. 25.1. Схема приемника Маркони согласно патенту № 7777

Входной контур в этом приемнике настраивался в резонанс на принимаемый сигнал с помощью переменного конденсатора *C1*. Антенная цепь тоже настраивалась в резонанс с помощью катушки с отводами *LA*. Цепь, в которую включен когерер, тоже настраивалась в резонанс на принимаемый сигнал с помощью катушек с отводами *LS1* и *LS2*, а также при помощи конденсатора C2. В разультате этого чувствительность этого приемного устройства была значительно увеличена. Была возможна частотная селекция сигналов. С использованием приемника, построенного по примерно такой схеме, Маркони были проведены в то время его самые дельние связи. Это радиосвязь через Ла-Манш на расстояние в 31 милю и радиосвязь с военными кораблями в море на расстояние в 76 миль.

Именно по поеоду применения этого приемника с настроенными цепями возникает много вопросов. Поскольку для работы приемника его цепи должны быть настроены на частоту работы передатчика, Маркони должен был бы знать частоту работы передатчика, расположенного в Poldhu, для того, чтобы достаточно быстро настроить приемник на приемной станции в Канаде.

Если вы будете в музее старой техники, обратите внимание на детекторные приемники начала XX века. Многопозиционные переключатели катушек, которыв градуированы в условных единицах, шкалы конденсаторов, градуированные в градусах. К приемникам прилагаются номограммы для перевода положений переключателей, отвода катушек и емкости конденсаторов в длину волны. Не зная точно длины волны

работы передатчика в Poldhu, Маркони мог бы сутками настраивать свой приемник в поисках слабых сигналов, прошедших через Атлантический океан, если бы... Да, если бы он не экспериментировал со своим приемником в Англии и не привез на приемную станцию в Канаду уже настроенный на частоту работы передатчика приемник. Причем настроенный для работы совместно с антенной той длины, которую использовал Маркони в St. John's. Зная характер Маркони, его предусмотрительность в малейших мелочах, можно предположить, что именно так оно и было.

Для работы совместно с этим приемником Маркони взял три когерера. Один был заполнен угольными крошками, другой смесью угольных крошек и кобальтовых опилок и третий, экспериментальный, ртутный когерер, который Маркони до этого использовал для работы на приемниках, установленных на кораблях итальянского морского флота. Первые два типа когереров широко ранее использовались Маркони и другими пионерами радио для экспериментов. Эти типы когереров показали хорошо повторяемые результаты приема радиосигналов, но обладали небольшой чувствительностью. С третьим типом когерера — ртутным — Маркони только проводил эксперименты. Ртутный когерер представлял собой каплю ртути, находящуюся между двумя железными контактами. Маркони утверждал, что ртутный когерер в то время был самым чувствительным когерером.

Ртутный когерер Маркони впервые использовал на кораблях итальянского военного морского флота в 1898—1899 годах. В те же годы им был осуществлен прием радиосигналов на слух с помощью электромагнитных телефонов. Ртутный когерер позволял осуществлять наиболее дальний слуховой прием первых искровых передатчиков. Именно использование приема на слух и использование высокочувствительного ртутного когерера позволили Маркони в те годы установить свои рекорды по дальности радиосвязи.

25.5. Приемная антенна Маркони

Но давайте снова вернемся в Канаду на приемную станцию в St. John's и обратим внимание на приемную антенну. Маркони в разные дни упорно пытается поднять на шаре антенну длиной именно 150 м. Даже когда ветер обрывает такую длинную антенну, он поднимает другую такую же по длине. Почему Маркони так упорно пытался использовать антенну именно такой длины? Почему он не укоротил антенну, скажем, до 100 м, чтобы она выдержала сильный ветер? Почему он не использовал антенну длиной 200 м, которую шар тоже вполне бы смог поднять? Постараемся ответить на это, основываясь на известных нам фактах.

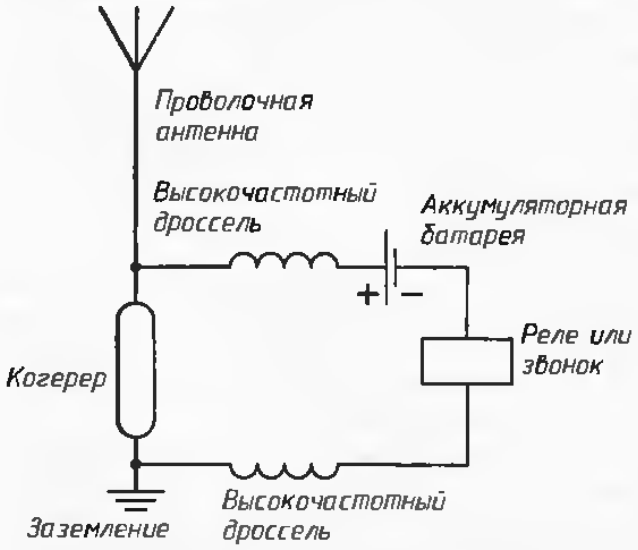


Рис. 25.2. Первый приемник Маркони

Мы знаем, что Флеминг, конструктор передатчика в Poldhu, в 1903 году сказал, что длина волны его передатчика была равна 304 м. Антенна, которую использовал Маркони, тоже кратна этой длине волны — 304, или 150×2. Значит о предполагаемой длине волны работы передатчика Маркони имел четкое представление. Но по каким-то причинам Маркони об этом в дальнейшем почему-то умалчивал...

Маркони при экспериментах с первыми когерерными приемниками (рис. 25.2) обнаружил, что наибольшую силу сигналов обеспечивает антенна длиной, кратной половине длины принимаемой приемником

радиоволны. Поскольку сопротивление когерера до прихода радиоволн было велико, несколько тысяч ом, то он не шунтировал антенну, имеющую высокое сопротивление на своих концах. При приеме антенной радиосигналов между антенной и заземлением появлялось большое высокочастотное напряжение. Это напряжение прожигало когерер, вследствие чего происходила регистрация радиосигналов. Впоследствии Маркони использовал полуволновую антенну совместно с приемником с настраиваемыми контурами (знаменитый патент 7777). Если антенна была физически меньшей длины, то с помощью катушки индуктивности (которая сейчас носит название удлиняющей катушки) антенна настраивалась в резонанс на необходимую волну.

Следовательно, Маркони был уверен, что длина волны передатчика в Poldhu была равна 300 метров. На основании этого Маркони пытался использовать настроенную резонансную антенну для улучшения приема. Поэтому длина его антенны была равна 150 м.

25.6. Первый в мире регенеративный приемник

Далее происходят совершенно непонятные события. Имея настроенный и высокочувствительный приемник, Маркони, по уверению его помощника, Richard Norman Vyvyan (1876—1946), этот приемник по неизвестным причинам не использовал [5]! А использовал Маркони всего лишь высокочувствительный ртутный когерер, подключенный к антенне и к наушникам. И на этот простой приемник Маркони смог услышать сигналы из Англии!

Если мы посмотрим на известную фотографию Маркони, сделанную на приемной станции в St. John's, известную под названием: «Маркони после приема первых трансатлантических радиосигналов из Poldhu», то увидим, что на этой фотографии действительно нет приемника с настраиваемыми цепями!

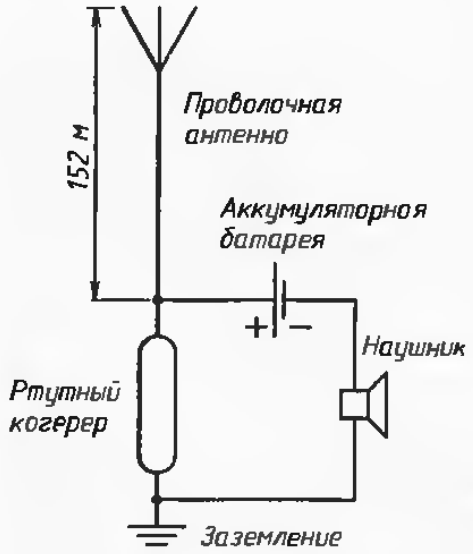


Рис. 25.3. Предполагаемая схема приемника Маркони для трансатлантической связи

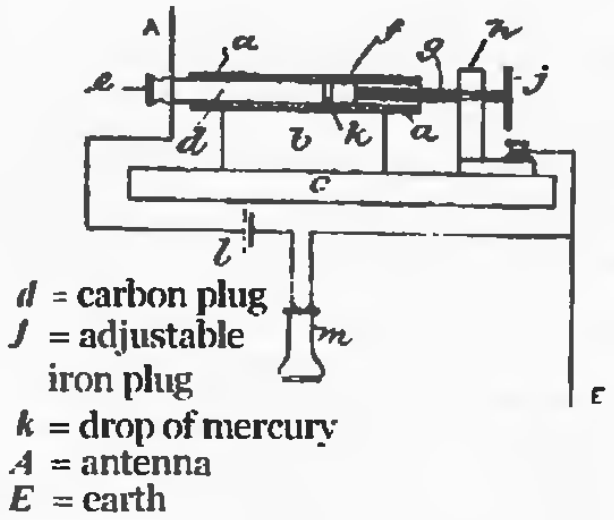


Рис. 25.4. Схема приемника Маркони с ртутным когерером, приведенная в патенте № 18105

Предполагаемая схема приемника Маркони, используемая им для трансатлантической связи, показана на рис. 25.3. Эта схема составлена на основе патента Англии № 18105, который Маркони получил 9 сентября 1901 года на слуховой приемник с ртутным когерером и на основании конструкций его первых широкополосных когерерных приемников. На рис. 25.4 показана схема приемника Маркони с ртутным когерером, как она изображенна в патенте № 18105.

Давайте еще раз внимательно рассмотрим схвму приемника, которую Маркони предположительно использовал на приемной станции в St. John's (рис. 25.3). Четвертьволновая антенна, являющаяся резонансной для принимаемого сигнала, ртутный когерер, наушники, аккумуляторная батарая ...

Итак, рассчитывая использовать полуволновую резонансную антенну для длины волны 300 м, Маркони случайно применил чвтвертьволновую резонансную антенну для используемой им частоты работы передатчика. Действительно, длина волны для частоты 511 кГц составляет 580 м, четверть длины волны 145 м, т. е. очень близко к длине, используемой Маркони антенны.

Продолжим дальше рассмотрвнив цепи эагадок. Считается маловероятным, что, используя такой простой приемник, схема которого приведена на рис. 25.3, было бы возможно принять сигналы передатчика из Poldhu, находящагося на удалении 3500 км. На основании формул о прохождении радиоволн была найдена напряженность поля, которую мог создать передатчик, расположенный в Poldhu на приемной станции в Канаде. Эти расчеты представлвны в литературе [4]. Расчеты, приведенные там, показывают, что той ничтожно малой мощности электромагнитной энергии, дошедшей из Англии в Канаду, было явно недостаточно для перевода ртутного когерера в режим когерирования.

Для того чтобы привм был возможен на такое значительное расстояние, ртутный когерер должен реботать хотя бы как обычный диод, т. е. в режиме детектирования, а не а режиме когерирования. Только в этом случве на такой простой приемник был бы возможен прием слабых сигналов. Но даже в этом случае для увервнного приема столь далеких сигналоа детекторный приемник должен был бы обладать небольшим усилвнием. Итак, простой детекторный приемник не мог принять эти сигналы, если... если бы он не обладал бы усилением. И тут мы подходим к другой загадке истории. А если этот привмник, используемый Маркони на приемной станции в Канаде, обладал усилением? Вы спросите, но возможно ли это?! В схеме приемника на рис. 25.3 отсутствуют усилительные элементы.

Однако нвличие усилвния в этом привмнике вполне возможно... Давайте еще рвз внимательно рассмотрим его схему. К ртутному когереру червз наушники подвадено постоянное нвпряжение. В то время такое построение слуховых привмников было обычным. Поскольку энергии радиоволн было недостаточно для их прямой регистрации наушниками, то последоватвльно с когерером и наушниками включали батарею. В рвзультате чего слабые сигналы, принимаемые из эфира, при переводе когерера в режим когерирования вызывали значительный по силе отклик в наушниках, т. в. можно говорить о том, что этот приемник обладал некоторым усилением по отношению к принимаемому сигналу. Но, конечно, приемник имел порог срабатывания, ниже которого регистрация сигналов была невозможна.

Теперь давайте внимательно рассмотрим конструкцию ртутного когерера. Металлические выаоды когерера не смачивались ртутью, т. е. между ртутью и контактами была тонкая пленка окисла. Работа когерера заключалась в том, что при приеме радиосигналов из эфира эта пленка прожигалась, в результате чего сопротивление когерера резко падало и осуществлялся режим когерирования. Но и мощности радиосигнвлов, пришедших из Polghu в St. Johns, было, конечно, недостаточно для прожигания пленки окисла и для переводе ртутного когерера в режим когерирования. Следовательно, невозможно было получить усиление за счет режима когерирования.

В то же время эта пленка окисла обеспечила прием слабых сигналов. Теперь мы знаем, что такая пленка окисла может обладать лямбдаобразной характеристикой. Вследствие этого ртутный когерер в этом приемнике Маркони мог работать как своеобразный анвлог туннельного диода. Следовательно, приемник Маркони на приемной станции в St. Johns мог обладать усилением! Исследованиями свойств различных пленок окислов, обладающих Λ(лямбда)-образной характеристикой, в 20—30-х годах в СССР занимался Лосев Олег Владимирович (1903—1942).

В 1922 году им уже был построен детекторный приемник с использованием диода на основе окиси цинка, который обладал значительным усилением.

Описание работы ртутного когерера, приведенное Маркони, удивительно напоминает работу «кристадина» Лосева. Однако давайте обратимся к этому описанию, данному Маркони в июне 1902 года на лекции в Королевском институте: «Эти (ртутные — *Авт.*) когереры не были достаточно надежными для того, чтобы они могли производиться для регулярной коммерческой работы. Они работвли или только под воздействием мощных электрических волн, или при наличии сильных атмосферных электрических разрядов и имели неприятное свойство пракращать когерирование во время передачи сообщения» [4]. Так же нестабильно работали первые приемники Лосева, содержащие «генерирующие кристаллы»! Но когда эти приемники работали, они обеспечивали знвчительное усиление радиосигналов. В литературе [7] было приведено значение усиления, обеспечиваемое регенеративным приемником Лосева. Оно было равно 15. В другой литературе мне встречалось значение усиления, обеспечиваемое приемником Лосева, преевышающее 100. Но даже при усилении, равном 15, Маркони вполне мог принять сигналы передающей станции из Poldhu.

25.7. Ртутный когерер Bose

Будет несправедливо не остановиться более подробно на истории ртутного когерера. В большинстве литературных источников, посвященных Маркони, ртутный когерер упоминается как собственное изобретение Маркони. Однако это не так.

Ртутный когерер и слуховой приемник радиосигналов на его основе были описаны в источнике [8] еще в 1899 году индийским ученым-исследователем Д. И. Босом (Jagdish Chandra Bose, 1858—1937). Ранее, в 1896—1897 году, Бос проводил тур лекций по Англии, посвящанный своим исследованиям радио. Бос в этом туре заявил, что он не интересуется коммерческим использованием своих изобретений и не будет возражать, если другие будут их использовать в этих целях [9]. В своих лекциях Бос рассказывал и об использоввнии ртутного когерара вместо когерера, содержащего металлические или угольные опилки. Считается, что на этих лекциях вполне могли присутствовать как Маркони, так и его помощники. Знания об экспериментах Боса позволили Маркони чразвычайно быстро внедрить ртутный когерер. Проводил Бос эксперименты и с другими, необычными типами когереров. Обо всвм этом можно прочитать на сайтах в Интернете, посвященных этому ученому.

Как и многие люди, беззаветно преданные науке, Бос не хотел, чтобы патентование его изобретений не позволило другим исследователям пользоваться ими, а сладовательно, замедлило прогресс науки. А так не раз было в радиотехнике! Можно привести множество примеров этому...

Но как бы то ни было, ртутный когерар был использован Мврконн для приемников, установленных на кораблях военного флота Италии. Затем им был использован ртутный когерер для проведения первой трансатлантической связи. На всякий случай Маркони даже получил патент Англии № 18105 на «изобретение» ртутного когерера от 9 сентября 1901 года. Отличие конструкции ртутного когерера Маркони от ртутного когерера Боса заключалось только в одном: Бос использовал для когерера U-образную стеклянную трубку, а ртутный когерер Маркони был прямым.

Но, очевидно, Маркони не смог заставить работать ртутный когерер так, как это смог сделать Бос. Ртутный когерер Маркони в отличие от ртутного когерера Боса был нестабилен в работе. Среди бесчисленных документов в Интернете, посвященных ртутному когереру Боса, мне удалось найти даже упоминание о том, что ртутный когерер Боса возможно мог излучать радиоволны [10]! Значит, действительно вполне возможно было построение регенеративного приемника на основе ртутного когерера.

Но Бос впоследствии отказался от экспериментов с этим типом когереров и использовал для приема кристаллические детекторы. После 1901 года Маркони тоже не использовал ртутные когереры в своих приемниках. Открытие Λ-образной харвктеристики контактов металл—окисел было оставлено Лосеву до 1922 года.

25.8. Работа на гармониках

Конечно, нельзя полностью отрицать того, что эта первая трансатлантическая радиосвязь могла быть проведена на высокочастотных гармониках, которые происходили в процессе работы искрового передатчика. В искровом передатчике конструкции Флеминга, установленном в Poldhu, использовались резонансные цепи связи с антенной, т. е., основную мощность передатчик излучал на первом четвертьволновом резонансе антенны, расчетное знвчение которого равно 511 кГц. Однако передатчик все равно излучал широкий спектр высокочастотных гармоник при своей работе, причем уровень некоторых гармоник мог иметь значительную мощность. Приведем аргументы в защиту этого утверждения.

В начале 1960-х годов в Англии, в Daventry, на небольшое время был включен средневолновый искровой телеграфный передатчик, аналогичный по конструкции тому, что был использован для проведения первой трансвтлантической связи. Этот передатчик находился в здании, где располагался передатчик коротких волн, принадлежащий ВВС. Частота работы этого искрового передатчика былв равна 540 кГц, т. е. близка к используемый для первой трансатлантической связи. Присутствующий при этих испытаниях инженер Paul McGoldvick пишет, что спектр частот этого искрового передатчика был чразвычайно широк. Он простирался за пределы 50 МГц [11]. Измерения спектра частот искрового передатчика проводились с помощью панорамного приемника.

При мощности передатчика, рвсположенного е Poldhu, в пределах 15...25 кВт мощность высокочастотных гармоник, лежащих в коротковолновом диапазоне, могла быть вполне достаточной для того, чтобы быть уверенно принятой на расстоянии 3500 км. Для иэлучения высокочастотных гармоник вполне могла подойти антенна, используемая совместно с этим передатчиком. В конструкции выходных цепей передатчика Флеминга содержались прижимные контакты, которые могли рвботать как нелинейные элементы и производить гармоники сигнала. Если антенная система передатчика по каким-либо причинам имела резонанс на частоте одной из мощных гармоник, лежащей в диапазоне коротких волн, то излучение антенны было достаточно эффективным на этой частоте.

Ртутный когерер являлся высокочастотным прибором, поэтому он вполнв мог успешно регистрировать сигналы, лежащие в диапазоне коротких волн. Напомним, что Бос успешно использовал ртутный когерер для работы в сантиметровом диапазоне волн [12]! Возможность усиления принимаемых сигналов, обусловленное Λ-образной характеристикой ртутного когерера, уввличивало вероятность радиосвязи с использованием широкополосного приемника.

Правоту этой версии мог бы подтвердить только эксперимент. Но уже девно нет той передающей антенны, которая была использована для проведения первой трансатлантической связи, затерялся в дебрях лет оригинальный передатчик... Утеряно искусство производства ртутных когереров. Усложняет проведение твкого эксперимента и то, что включение искрового передатчика в современном мире, наполненном разнообразными радиоэлектронными средствами, просто невозможно! Помехи, создаваемые даже одним (!) искровым мощным передатчиком значительно усложнят работу радиоэлектронных систем всего мира. Наш земной шар стал маленьким для искровых передатчиков и для экспериментов с ними...

25.9. Островной эффект

Островной эффект является малоисследованным эффектом. Он наблюдается при расположении радиоаппаратуры как приемной, так и передающей на острове в море, который по своим размерам сравним с размерами длины волны, используемой для работы с этой аппаратурой. В этом случае остров, который рассекает поверхность моря, выполняет роль диэлектрика в щелевой антенне, образованной морской поверхностью.

Островной эффект значительно улучшает прием радиоволн внутри острова. Этот эффект знаком многим радиолюбителям, которые работали с островов. Мне тоже приходилось наблюдать островной эффект при работе с острова Кижи. Очень интересно описан этот эффект в источнике [13]. Встречаются сообщения (к сожалению, мне не удалось найти документальных подтверждений этим сообщениям) о построении на этом эффекте передающих сверхдлинноволновых антенн, используемых военными для глобальной радиосвязи.

Приемная станция Маркони находилась в устье бухты острова Newfondland. Островной эффект в устье бухты также проявляется, хотя и несколько слабее, чем на острове, расположенном внутри океана. Следовательно, удачно выбранное место для расположения приемного центра могло способствовать увеличению силы принимаемого сигнала за счет островного эффекта.

25.10. Удача Маркони

Итак, при установлении первой трансатлантической связи Маркони сопутствовала невероятная удеча. Попробуем систематизировать факторы, способствующие проведению первой трансатлантической радиосвязи.

1. Маркони использовал настроенную четвертьволновую антенну на действительную частоту работы передатчика, расположенного в Poldhu.

2. Ртутный когерер, включенный последовательно с резонансной четвертьволновой антенной, оказался аналогом туннельного диода. Пленка окисла внутри ртутного когерера на переходе железо—ртуть—железо обладала Λ-образной характеристикой.

3. Четвертьволновая антенна с последовательно с ней включенным диодом с Λ-образной характеристикой образовала регенеративный приемник, частотв которого определялась частотой настройки антенны и была равна примерно 500 кГц. Этот казалось бы простейший приемник мог обладать большим усилением и мог быть вполне способным принимать сигналы передатчика, расположенного в Англии.

4. Батарея питания, подключенная через наушники к ртутному когереру, обеспечивала именно то постоянное нвпряжение смещения, которое было необходимо для перевода пленки окисла ртутного когерера в режим регенерации...

5. Наушник, используемый в приемнике Маркони, имел такое активное сопротивление, которое обеспечивало необходимый ток для стабильной работы пленки окисла в ртутном когерере в режиме, необходимом для работы регенеративного приемника...

6. Регенерация, обеспечиваемая пленками окисла в ртутном когерере, могла осуществляться как на частоте настройки антенны (на высокой частоте), так и на индуктивности, образованной катушкой в наушниках (на низкой частоте). Это приводило к дальнейшему возрастанию усиления этого регенеративного приемника Мврконн. Схемы таких приемников были разработаны Лосевым в 20-х годах...

7. Возможно, приемник Маркони смог принять высокочастотные гармоники передатчика из Poldhu, частоты которых находились в диапазоне коротких волн. В этом случае распространение коротких волн между Канадой и Англией в дневное

время сопровождается гораздо меньшим затуханием по сравнению с диапазоном средних волн.

8. Вероятно, островной эффект помог увеличить силу принимаемых радиосигналов до величины, необходимой для работы когерерного приемника Маркони, даже не обладающего усилением за счет регенерации.

25.11. Послесловив

Мощности расположенного в Poldhu передатчика, находящейся в пределах 15—25 кВт, было недостаточно, чтобы обеспечить дневной прием в диапазоне средних волн на приемник с когерером, даже с самым чувствительным в то время ртутным когерером. Но хороший детекторный приемник, тем более приемник с каскадами, обладающими усилениам, вполне мог принять сигналы этого перадатчика, особенно если приемник еще обладал усилением по низкой частоте. Приемник Маркони мог обладать усилением как по высокой, так и по низкой частоте за счет Λ-образной характеристики ртутного когерера. В зимнее врамя слой D, в котором происходит интенсивное поглощение частоты 500 кГц, мог быть значительно ослабленным, что давало дополнительный выигрыш в силе принимаемого сигнала. Островной эффект также способствовал увеличению силы сигнала в месте расположения приемной станции Маркони.

Слишком много случайностей, скажет читатель, собрались вместе... Такое просто невозможно! Однако история иногда показывает, что вполне возможно. Это закономерный разультат постоянной и кропотливой работы, которую Маркони осуществлял по усовершенствованию переых средств радио связи. Многие малозначительные и невероятные на первый взгляд явления слились вместе и способствовали проведанию первой трансатлантической связи.

Итак, в декабра 1901 года, в самом начале XX века, мир вступил в совершенно другую эпоху — в эпоху радио. Радиотехника начала развиваться стремительными темпами. Когереры ушли навсегда из радиотехники. В 1902 году Маркони был изобретен магнитный детектор, совершивший революцию в увеличении дальности связи [14]. Пусть этот детектор был громоздким и нелепым по современным понятиям, но это уже был принципиально новый прибор — детектор, а не когерер.

Маркони и его команде понадобилось еще несколько лет, в течение которых было сделано много работы, было совершено множество открытий, для того чтобы 18 октября 1907 года заработала первая регулярная трансатлантическая линия радиосвязи. К сожалению, А. Попов, изобретатель радио в России, не дожил до этого дня...

25.12. Post scriptum: Тесла помогает Маркони в установлении первой трансатлантической связи!

Обычно Post scriptum содаржит информацию, которая по каким-то причинам не была включена в основную статью. В этом случае предполагают, что автор просто спешил и по этой причине что-то упустил. Но эта информация вынесена в Post scriptum потому, что приведенная здесь гипотеза о причинах, способствующих проведению первой трансатлантической связи, очень и очень спорная... Тем не менее и эта гипотеза, какой бы фантастической она не показалась, имеет право на жизнь. Давайте рассмотрим ее.

Итак, все доводы против установления первой трансатлантической связи основаны на том, что мощность сигналов, которую обеспечивал нв приемной станции в St. Johns передатчик, расположенный в Poldhu, была недостаточной для работы когерерного и даже простого детекторного приемника, не обледающего усиленивм. Расчет мощности этих сигналов проведен с использованием обычных условий,

существующих при прохождении радиоволн средневолнового диапазона в дневное время [4].

Однако при приеме трансатлантических радиосигналов могли существовать условия, обеспечивающие аномальное распространение радиоволн, когда обычные законы прохождения радиоволн не действуют. В этом нет ничего мистического, и такие случаи аномального прохождения вполне могут быть. Наиболее распространенно аномальное распространение радиоволн за счет «разогрева» ионосферы мощным радиоизлучением. Было замечено, что при облучении некоторой области ионосферы мощным радиоизлучением происходит улучшение отражения радиоволн в широком диапазоне частот от «нвгретой» области ионосферы.

Немного об истории открытия этого явления. Во всем мире давно используются тропосферные радиозондирующие станции для определения скорости ветров на различных высотах в атмосфере и тропосфере. При своей работе эти станции посылают мощные зондирующие импульсы на частотах 50...100 МГц. Некоторые тропосферные зондирующие станции использует мощность до 100 кВт. Некоторые станции используют антенные рашетки, обледающие значительным усилением — до 20...30 дБ. Принимая отраженные сигналы от неоднородностей, существующих е тропосфера, в частности от метеорных следов (а метеорные следы существуют всегда, поскольку наша планета Земля постоянно подвергается метеоритной бомбардировке), и далее анализируя эти отраженные сигналы, определяется скорость ветров. Используя данные о скорости ветра на трассах полетов самолетов, можно при помощи попутного ветра, который на высотах 5...10 км имеет большую скорость, проиэводить солидную экономию горючего. Знание скорости ветров в различных слоях атмосферы позволяют составлять достоверные прогнозы погоды.

Оказалось, что эти станции при работе на передачу разогревают ионосферу и улучшают ее отражающие способности в коротковолновом и средневолновом диапазоне. В бывшем СССР даже существовали специальные системы связи с использованием эффекта предаарительного разогрева ионосферы мощным радиоизлучением. Конвчно, в этих системах связи для предаарительного «разогрева» ионосферы не использовали тропосферные метеостанции...

В [15] описан один из опытов, проводимый в СССР, во время которого произошло даже «прожигание» ионосферы мощным радиоизлучением.

Поэтому если во время проведания первой трансатлантической сеязи был проведан «разогрев» ионосферы, то вполне возможно было провести радиосвязь, используя простой когерврный приемник. Но возможно ли было провести «разогрев» ионосферы в 1901 году? Существовали ли в то врамя средства для этого?

Да, существовали. В этом легко убедиться, ознакомившись с литературой [16]. Тесла в то врамя проводил опыты по передаче электрической энергии вдоль поверхности Замли. При проведении этих экспериментов вполне был возможен «разогрев» ионосферы. Выводы об этом можно сделать на основе материалов, изложенных в литературе [16]. В 1901 году устройства Тесла, предназначенные для передачи электроэнергии вдоль поверхности Замли, были вполне работоспособны.

Однако мне не удалось найти достоверную информацию, которая бы подтверждала то, что именно в декабре 1901 года Тесла проводил опыты по передаче энергии по поверхности Земли. Вообще, мне не удалось найти информацию о жизни Тесла с начала ноября по конец декабрь 1901 года. Однако если Тесла проводил бы в декабре 1901 года свои опыты по передаче электроэнергии без проводое, он вполне бы мог разогреть ионосферу Земли при помощи своего усилительного передатчика. Следовательно, невольно мог способствовать установлению первой трансатлантической связи.

Но не мог ли Тесла специально провести разограв ионосферы Земли с целью способствовать установлению этой радиосвязи? Очень даже вероятно, что мог. В источнике [17] высказываются предположения о том, что Тесла был хорошо знаком

с Маркони, более того, Маркони, якобы был в свое время учеником Тесла, который был научным консультантом Маркони. Что же, если это действительно так, то многое тогда встает на свои места... Становится понятно, как Маркони, который не имвл никакого специального образования, преуспел в создании устройств беспроводной связи. Вполне возможно, что Тесла специально «подогрел» ионосферу с целью помощи своему ученику в проведении этой связи. Праеда иногда невероятнее вымысла. Поэтому эта версия событий тоже еполне возможна.

А пока девайте присоединимся к мнению большинства ученых: неважно, была ли в действительности проведана первая трансатлвнтическая связь, неважно, слышал ли Маркони радиосигналы из Poldhu или грозовые разряды, важно только то, что после 12 декабря 1901 года мир вступил в другую эпоху. В эпоху Радио. Произошло это во многом благодаря Маркони.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belrose J. Fessenden and Marconi: Their Differing Technologies and Transatlantic Experimenters During the First Decade of this Century // Papers of International Conference on 100 Years of Radio. 5—7 September, 1995.

2. Kryzhanovsky Leonid, Rybak James P. Grand Junction, CO USA, Recognizing some of the many contributions to the early development of wireless telegraphy, Popular Electronics, 1993.

3. Bondyopadhyay P. B. «Investigations on Correct Wavelength of Transmissions of Marconi's December 1901 Transatlantic Wireless Signal», IEEE Antennas and Propagation Society, International Symposium Digest, 12, 1993. — P. 72—75.

4. Belrose J. S., A Radioscientist's Reaction to Marconi's first transatlantic Wireless Experiment — Revisted, IEE APS/URSI Meeting, Boston, MA July 2001.

5. Philips V. S. The 'Italian Navy Coherer affair turn- of- century scandal, IEEE Proceedings A, 140, 1993, pp. 175—185.

6. Остроумов Б. Л. (составитель). Нижегородские пионеры советской радиотехники. — М.: Наука, 1966, 215 С.

7. Остроумова Е. В., Лосев О. В. — Пионер полупроводниковой электроники (получено через интернет ресурсы)

8. Proceeding of the Royal Society, London, April 27, 1899.

9. Bose J. C. The Inventor, Who Wouldn' Patent // Science Reporter (NISCOM), February, 2000.

10. A Noble Man without a «Nobel» // www.top-biography.com/9049.-J%20BOSE/spfeat.htm

11. McGoldvick Paul. Let Guglielmo Rest // www.chipcenter.com/Wireless.RF and semiconductors information for engineer.htm.

12. The Work of Jagadis Chandra Bose: 100 Years of MM — Wave Research // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, December 1997. — Vol. 45. — № 12. - P. 2267—2273.

13. Doty John. Antennae experiments // newsgroups:rec.radio.shortwave

14. www.radiomarconi.com

15. Soviet Test Bumbed the Ionosphere: Monitoring Times, February, 2001.

16. The Strange Life of Nicola Tesla // http://www.geocities.com/Athens/2424/intro.html.

17 Childress David Hatohel/ Tesla and Marconi // http://www.atlantisrising.com/issue12/ar13tesla.html.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1
РАБОТА НА QRP

С каждым годом работа на малой мощности, или, как ее еще называют, работа на QRP, привлекает к себе все больше и больше сторонников среди радиолюбителей. Это приложение как раз и предназначено для тех радиолюбителей, которые хотят попробовать свои силы в работе малой мощностью.

П1.1. Краткая история QRP

Для того, чтобы радиолюбителям было понятно современное QRP-даижение, приведу краткую историю развития QRP в мире.

П1.1.1. Начало

В те, уже далекие для нвс, врамена первоначального освоения эфира радиолюбителями в 20-е годы XX века большинство любительских радиостанций подходило под современное определения QRP станции, которое сейчас подразумевает, что подводимая мощность к выходному каскаду передатчика составляет 5 Вт в режиме CW и 10 Вт в ражиме SSB. Однако SSB в те времена радиолюбители еще не использовали, работали с применением в основном CW. Конечно, та небольшая мощность, которую радиолюбители использовали для своей работы в 20-е годы XX века, определялась совсем не их пристрастием к работе на QRP. Даже совсем наоборот.

Это определялось более прозаическими причинами. Радиолампы, используемые в то время для конструирования приемников и передатчиков, были дефицитными и дорогими. Большинство из доступных для радиолюбителей радиоламп могли обеспечить только небольшую выходную мощность в пределах нескольких ватт. Срок службы первых радиоламп был весьма небольшой. Для питания передатчиков и приемников обычно использовали сухие батараи. Только немногие «продвинутые» радиолюбители могли себе позволить использовать большие батараи аккумулятороа или бензиновый электричвский генератор. Доступные же радиолюбителям сухие батареи не могли отдавать большой ток и, следовательно, обеспечивать большую мощность передатчика. Тем не менее радиолюбители, используя QRP-передетчики с выходной мощностью, равной 1...5 Вт, работали при этом со всем миром.

Постепенно улучшались технологии производства радиоламп. Мощные радиолампы для выходных каскадов передатчиков становились все дешевле и доступнее. Радиолюбители начали постепенно наращивать выходную мощность своих радиостанций. Позже повсеместное распространение сети постоянного (в те времена в некоторых странах для освещения использовали постоянный ток), а впоследствии переменного тока в жилых домах позволило отказаться от использования внодных и накальных батарей и обеспечить практически любую разумную выходную мощность на выходе любительской радиостанции. Ранее же выходная мощность любительской радиостанции часто ограничивалась мощностью используемых батарей питания.

Увлечение охотой за «DX» заставляло радиолюбителей постоянно наращивать мощность радиостанций, а также использовать более эффективные антенны. Впрочем, большинство любительских радиостанций того времени использовало простые проволочные антенны. К началу Второй мировой войны основная масса любительских станций работала на мощности, определение которой не подходило к разряду QRP. Мощность от нескольких десятков ватт до сотни ватт уже становилась обычной для радиолюбительского использования.

П1.1.2. После Второй мировой войны

После окончания Второй мировой войны в руки радиолюбителей европейских стран и США попало большое количество разнообразной военной радиоаппаратуры. Это были прекрасные высокочувствительные связные военные приемники, мощные передатчики, разнообразные «штучки» — наушники, телеграфные ключи, сухие батареи и аккумуляторы. Все это позволило кардинально изменить работу радиолюбителей в эфире. Проведание дальних связей для владельцев этой аппаратуры стало обычным делом. До сих пор можно встретить на радиолюбительских радиостанциях аппаратуру времен Второй мировой войны...

Пример того, что, используя мощные передатчики, хорошие направленные антенны и чувствительные приемники, можно уверенно устнавливвть дальние связи, звставил многих радиолюбителей заняться совершенствованием своей аппаратуры.

Но просто уввличить мощность передатчика оказалось гораздо легче, чем сконструировать высокочувстаительный приемник или установить эффективную антенну, тем более мощные радиолампы уже перастали быть дефицитными. Поэтому в эфире в то послевоенное врамя начало пояаляться множество любительских станций, работающих на большой мощности, но использующих простые регенеративные приемники и простые суррогатные антенны...

Период развития радиолюбительства сразу после Второй мировой войны в 1945—1950 годы исторически очень интересен. Успешное развитие ламповой техники, которое происходило в то врамя, давало даже радиолюбителям безграничные возможности для создания радиостанций любой мощности и чувствительности. В то аремя начали появляться любительские приемники и передатчики, содержащие десятки радиоламп.

Радиопромышленность во многих странах мира начала производить аппаратуру для радиолюбителей. Это позволило многим радиолюбителям иметь на своей радиостанции приличный чувствительный приемник и мощный, хорошо работающий передатчик. Конечно, это относилось к радиолюбителям стран Запада...

П1.1.3. Транзисторы вновь открывают QRP

Но история радиолюбительства сделала очередной виток. Начиная с середины 1950-х годов, для радиолюбителей стали доступными недавно изобретенные транзисторы. Энтузиасты полупроводниковой техники в те времена начали активно конструировать первые радиолюбительские передатчики на транзисторвх.

Интересно заметить, что в этом случае начальное развитие транзисторной техники нвпоминало развитие ламповой техники. Первоначально радиолюбители конструировали полупроводниковые передатчики с кварцевой стабилизацией частоты. Эти простые транзисторные передатчики с кварцевой стабилизацией частоты показали, что транзисторы вполне могут быть использованы в радиолюбительской практике. С дальнейшим рвзвитием производства и удешевлением транзисторов началось их применение радиолюбителями в усилителях низкой частоты передатчиков и приемников, для построения каскедов усилителей промежуточной частоты. Успешное развитие полупроводниковой техники в 60-е годы позволило создать широкодоступные транзисторы малой и средней мощности, работающие на частотах до 7 МГц. Для радиолюбителей пояаилась возможность создать передатчики для любительских диапвзонов 1,8; 3,5; 7 МГц.

Мощность первых радиолюбительских транзисторных передатчиков все еще была небольшой — от нескольких милливатт до нескольких сот милливатт. Но несмотря на эту мизерную по сравнению с тем, что обеспечивали лампы, мощность первых транзисторных передатчиков, радиолюбители пытались реботать на них е эфире. И это оказалось возможным. Используя даже небольшие мощности, рвдиолюбителям удавались связи на большие расстояния!

Полупроводниковая техника стремительно развивалась. С каждым последующим годом и даже с каждым последующим месяцем выпускались транзисторы работающие на более высоких частотах и мощностях, чем их предыдущие экземпляры. Развивалась теория построения транзисторных схем. Вместе с развитием теории развивалась практика транзисторной техники. Конструкции любительских полупроводниковых радиостанций усложнялись. Простые кварцевыв передатчики уступили мвсто передатчикам с плавным диапазоном частоты. Появились любительские разработки передатчиков и приемников, содержащих десятки транзисторов. Параметры этих транзисторных аппаратов (кроме мощности передатчиков, конечно) стали приближаться к параметрам ламповых.

П1.1.4. Развитие QRP-движения

Середину 50-х — начало 60-х годов можно назвать временем возрождения QRP-движения. Тогда начались запуски космических аппаратов, на которых использовались маломощные КВ—УКВ передатчики. Эти передатчики излучали специальные сигналы, которые могли принимать редиолюбители и которые в то же время быпи слышны на больших расстояниях. Развитив космической и военной техники привело к дальнейшему развитию качества полупроводниковой продукции и полупроводниковой схемотехники. Это позволило конструировать любительские передатчики, обладающие высокими параметрами на полупроводниковых элементах.

В то время входит в редиолюбительский жаргон и привычное для нас сейчас словосочетание «QRP», которое обозначало работу на малой мощности. До этого времени выражение «QRP» в том его значении, как мы это понимаем сейчас, использовалось редко. В конце 50-х — начале 60-х годов активность Солнца позволила проводить DX QSD на высокочастотных диапазонах 14—28 МГц,, используя небольшие мощности. Это тоже вызвало повышенный интерес к конструированию простых QRP-передатчиков на транзисторах.

В течение 60-х годов развитие полупроводниковой техники позвопило создать к следующему пику солнечной активности, который пришелся на конец 60-х — начало 70-х годов, конструкции вполне приличной транзисторной QRP-аппаратуры. Причем эту аппаратуру смогли повторить многие радиолюбители. Повторить и начать экспериментальную работу на малой мощности. Именно к тому времени относится создание первых местных QRP-клубов, которые объединили любителей работать на малой мощности. Именно тогда договорились, какую мощность считать QRP. ***Это 5 Вт в режиме CW и 10 Вт в режиме SSB.***

В 70-х годах по всему миру начали организовываться национальныв QRP-клубы. Как правило, сначала это были просто QRP-секции при других уже существующих и развитых радиолюбительских клубах. Это QRP-секция в DL-AGCW (Германия), SCAG-CW (Скандинавия). Впоследствии организовывались такие крупные QRP-клубы, как ARCI (США), G-QRP-C (Англия). В настоящее время в мире существует болве 200 QRP-клубов в различных странах. Уже нельзя назвать их точное количество.

Многие QRP-клубы проводят соревнования, дни активности работе в эфире. Такие QRP-соревнования нельзя назвать соревнованиями в том понимании, какое в это вкладывают другие радиолюбители. Это, скорее, встреча в эфире друзей по увлечению QRP, проверка возможностей QRP-работы и испытания самодельной QRP-аппаратуры.

На развитие QRP откликались многие ведущив фирмы — производители редиопередающей аппаратуры. Выпускается широкая номенклатура QRP-трансиверов, наборов для их изготоаления. Есть специализированные фирмы, которые производят только QRP-аппаратуру. Теперь каждый радиолюбитель имеет возможность или купить готовый QRP-трансивер, или собрать его самому из набора. Развитие современной элементной базы позволяет самостоятельно собирать несложные по конструкции, но имеющие высокие параметры трансиверы. Это еще более благоприятствует развитию QRP движения и дает возможность многим радиолюбителям присоединиться к нему.

П1.2. Невероятное QRP

Работа на QRP иногда удивляет, когда при использовании нескольких ватт мощности отвечают удаленные корреспонденты. Но особенно велико бывает удивление, если не знаешь, что работаешь на малой мощности... А потом видишь список проведенных связей. Вот о такой невероятной работе на QRP хочу рассказать.

П1.2.1. Ошибочное подключение антенны

Это произошло 10 двкабря 2001 года в QRP-экспедиции на Ай-Петри. Эта экспедиция проходила в честь столетия первой трансокеанской связи Г. Маркони. Организовал ее UR-QRP-C, использовался позывной EN100GM. Совместно с радиостанцией типа Р-143, которая обеспечивала 8 Вт выходной мощности, мы использовали согласующее устройство. Схема этого устройства показана на рис. П1.1. Более подробно это соглвсующее устройство описано в [1].

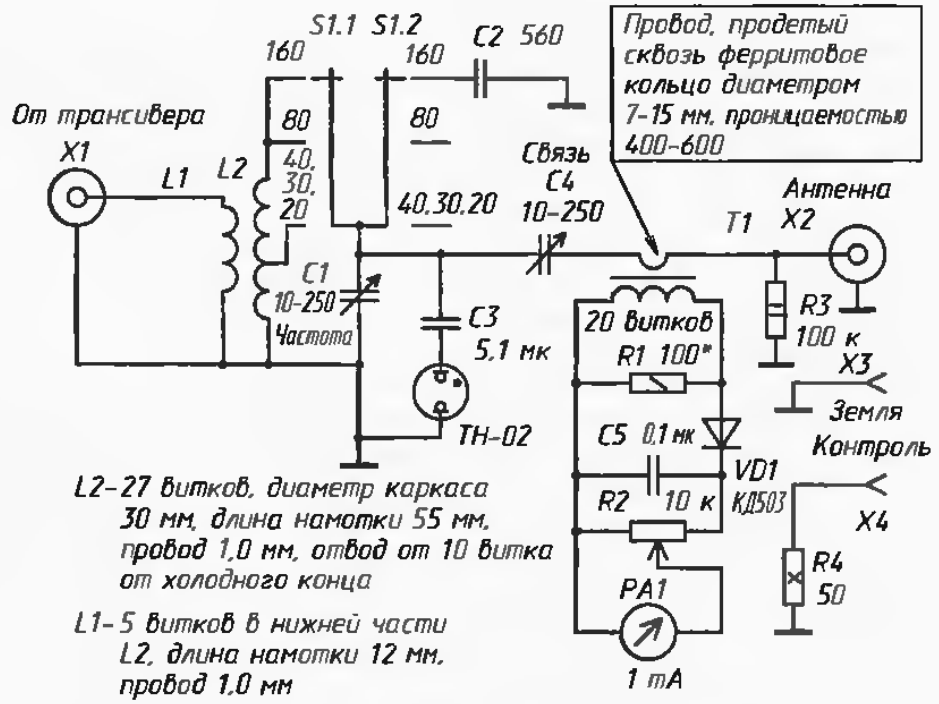


Рис. П1.1. Схема согласующего устройства

По ошибке один из операторов подключил антенну не к гнезду *X2*, а к гнезду *X4*, т. е. антенна была подключена к выходу активной нагрузки сопротивлением 50 Ом, расположенной внутри согласующего устройства и предназначенной для контрольной настройки пвредатчика. Так вот с такой, по сути дела отключенной от передвтчика, антенной мы работали несколько часов в эфире. Была проведена 21 связь. Одна связь на диапазоне 40 метров, три связи на диапазоне 17 метров и остальные 17 связей на диапазоне 20 метров. Только случвйно это обнаружено, когда не смогли провести связи на диапазоне 80 метров...

Конечно, при настройке контура согласующего устройства в резонанс часть мощности от него наводилась на нагрузку. Следовательно, на нагрузке и подкпюченной к ней антенне присутствовала мизерная мощность. Наводилось высокочастотное напряжение на трвнсформатор тока, включенный в антенную цепь. Трансформатор реагировал на эту наводку, показывая фальшивый ток, будто бы поступающий в ан-

тенну. Во врвмя приема часть высокочастотной энергии просачиввлось на вход Р-143, и эта военная радиостанция вполне «вытягивала» прием дальних станций.

П1.2.2. Связь на милливаттной мощности

После окончания экспедиции по приезде домой я измерил, какая мощность могла наводиться на активную нагрузку. Оказалось, что при закачке 10 Вт в согласующее устройство нв сопротивлении нагрузки согласующего устройства в зависимости от диапазона было наведено от 0,5 до 0,8 В высокочастотного напряжвния. Следовательно, в нашу антенну могло поступать примерно 5—15 мВт высокочастотной мощности. И вот на такую мощность мы работали в течение нескольких часов. Четыре человека (UU4JCQ, US1REO, USIRCH, RK3ZK) это наблюдали. Так что маленькая мощность все же позволяет работать. В табл. П1.1 приведена страница из аппаратного журнала EN100GM, которая показывает, какие связи были нами установлены с использованием QRPP.

Таблица П1.1

Страница аппаратного журнала EN100GM

# QSO	Call	Time, GMT	Band. MHz	RS
1	RK4LXD	14.20	14	59\59
2	UA1UPC	14.21	14	59\59
3	RV9MM/9	14.25	14	59\59
4	UA3BT	14.30	14	59\59
5	RA3DCU	14.31	14	59\58
6	RK4CXK	14.32	14	59\59
7	RW9AS	14.33	14	58\59
8	UA0AX	14.38	14	58\58
9	UA1NCX	14.39	14	59\57
10	UA9FLD	14.45	14	58\59
11	RW4UU	14.49	14	59\59
12	UA4SX	14.56	14	59\55
13	RX3AX	15.00	14	59\59
14	RX3FZ	15.04	14	58\59
15	RK4YWK	15.07	14	58\58
18	RV3DNT	15.12	14	58\58
17	4Z5AF	15.41	14	58\58
18	UR4QI/M	15.53	7	59\56
19	IK4WKU	18.15	18	59\54
20	ON4LAN	16.33	18	59\53
21	PA3DUV/M	16.38	18	59\59

П1.3. Прежде чем взять в поход трансивер

На протяжении многих лет мне приходилось работать на своей любительской радиостанции в различных туристических походах. Это были различные горные походы, байдарочные походы, просто пешие походы. Несколько байдарочных походов были проведены совместно с UA3WX.

Туристский поход, который обеспечен радиосвязью, проходит совершенно инвче, чем поход без радиосвязи. На вечернем трафике можно сообщить, что «все в порядке», передать привет родным, рассквзать, что в походе произошло за день. Для тех, кто собирается взять с собой в поход радиолюбительский трансивер, хочу дать некоторые рекомендации по использованию трансивера в походе. Эти советы даются на основе уроков, вынесенных мной из прошлых походов.

П1.3.1. Механическая защита трансивера

Трансивер, используемый в походе, должен быть по возможности небольшим по размерам, легким по весу и конечно механически прочным. Если корпус трансивера выполнен непрочным, желательно сделать жесткий защитный кожух для трансивера. На мой взгляд, оптимальным материалом для такого кожуха является фанера толщиной 4...6 мм. Корпус в этом случае получается легким и прочным.

Желательно, чтобы внутренности трансивера был защищены от влаги. По крайней мере, необходимо стремиться к тому, чтобы в походе трансивер находился в максимально сухом месте. Вечером, когда увеличивается сырость, трансивер можно даже завернуть в одеяло, в спальный мешок или в сухой шерстяной свитер. Нвлишним будет размвстить внутри трансивера мешочек с селикагелем для впитывания влаги. Эти рекомвндации относятся не только к самодельным трансивервм. Некоторые заводские трансиверы тоже плохо выдерживают сырые походные условия. Если трансивер отсырел, днем его можно просушить на солнце. Можно попытаться высушить трансиввр вечером около костра. Но затем просушенный трансиввр нвобходимо завернуть в сухое одеяло или в сухой теплый свитер. В противном случае трансивер через некоторое время снова втянет алагу и выйдет из строя.

П1.3.2. Мощность и питание трансивера

Из опыта предыдущих походов было выяснено, что наиболее рациональная выходная мощность трансивера составляет около 3 Вт. При меньшей мощности дальность уверенной связи уменьшается, а при большей происходит повышенный разряд батарей питания. Наиболее рационально в качестве источников питания использовать сухие или алкалиновые элементы размера R-20 (как старый соввтский 373-й элемент), включенные последовательно до необходимого рабочего напряжения. При рациональной работе в эфире, и мощности трансивера до 3 Вт таких батарвй вполне хватит на 5—8-дневный поход. После этого их можно будет выбросить и значительно облегчить вес туристского рюкзака. Для того чтобы старые элементы питания не загрязняли природу, их можно бросить в сильный костер. В нем они сгорят практически без остатка. Бросать необходимо именно в сильный костер. В этом случае герметизирующие пластиковыв прокладки очвнь быстро прогорают и герметично закрытые элементы в костре не взрываются.

Конечно, если вес источников питания не имеет знвчения, можно брать с собой аккумуляторные батареи. Элементы батареи питания должны быть тщательно спаяны между собой. Не используйте батарею питания с прижимными контактами между отдельными элементами. В походе элементы батареи неизбежно отсыреют. Их поверхность постепенно окисляется и переходное сопротиаление прижимного контакта значительно возрастает. Вследствие этого на прижимных контактах может потеряться значительная часть мощности батареи. У меня были случаи, когда такая отсыревшая батарея не могла обеспечить работу трансивера на передачу. Постоянно же сушить элементы батареи и чистить контакты — довольно утомительное дело...

Обратите внимание на то, что батарая питания обязательно должна быть вынесена за корпус трансивера. Это необходимо для того, чтобы предохранить детали трансивера от поврвждения в том случае, если батарея потечет. Электролит, вытекший из батареи, в сырых полевых условиях за считанные часы может разъесть провода контурных катушек, повредить трущиеся и прижимные контакты переключателей. В конечном итоге трансивер будет выведен из строя. Даже несколько капель электролита вытекшего из батареи и попавшего на элементы трансивера, могут с течением времени привести к неисправности трансивера.

Холодная батарея питания отдает заметно более низкую мощность, чем теплая. Это легко можно обнаружить по работе трансивера на передачу. Отдельную от трансивера батарею питания можно подогреть около костра или при помощи бензиновой каталитической грелки. Такая грелка весит немного, а если ее обернуть одеялом совместно с батареей питания, то работа трансивера даже в холодную погоду будет обеспечена. Бензиновые каталитические грелки можно купить в магазинах спортивных товаров. Блок элементов питания можно подогреть, даже используя тепло своего тела. Например, положить батарею питания в спальный мешок. В этом случае утром батарея питания будет теплой и позволит провести утренние радиосвязи.

П1.3.3. Чувствительность и стабильность трансивера

Трансивер, предназначенный для похода, должен обеспечивать реальную чувствительность не хуже 0,5 мкВ нв диапазоне коротких волн. Можно использовать трансиверы, обеспечивающие большую чувствительность. Вдали от города отсутствуют индустриальные помехи, поэтому высокую чувствительность вполне удается реализовать. Но необходимо учесть следующее обстоятельство. Мощные вещательные редиостанции, работающие на диапазоне 40 метров, могут закрыть этот диапазон для любительской работы в эфире, если динамический диапазон трансивера будет низким. В годы активного Солнца при хорошем прохождении на высокочастотных диапазонах вещательные станции 11- и 13-метрового диапазона могут серьезно осложнить работу на любительских диапазонах 10 и 15 метров, если используется приемник прямого преобразования или если приемник трансивера имеет низкий динамический диапазон.

Трансивер должен сохранять ствбильность частоты при колебаниях температуры и питающего напряжения.

Трансивер не должен бояться замыкания и обрыва в цепи антенны. В трансивере должна быть защита от подключения батареи питания в неправильной полярности. Трансивер должен быть защищен от статического электричества. Обратите серьезное внимание на выполнение этих требований. Отсутствие любой из этих защитных функций может в первый же день похода превратить трансивер в бесполезную коробку. Если какая-то из этих защит отсутствует, необходимо дома ее установить.

П1.3.4. Измерительные приборы трансивера

Желательно чтобы трансивер имел индикатор напряжения батареи питания и индикатор выходной мощности передатчика. Даже простейший вольтметр поможет быстро обнаружить, что батарея питания разряженв. Следовательно, радиолюбитель сможет вовремя принять меры по замене разряженной батареи питания или по зарядке аккумуляторной батареи. Особенно важно следить за состоянием аккумуляторной батареи. Снижение напряжения на аккумуляторной батарее ниже определенного порогового уровня может привести к серьезному повреждению этой батареи. Индикатор выходной мощности трансивера поможет постоянно следить за работой выходного каскада и быть уверенным, что высокочастотная энергия поступает в антенну. В крайнем случае, для контроля батарай питания можно использовать самый дашевый миниатюрный китайский стрелочный вольтметр. Следить за излучением передатчика поможет простейший индикатор высокочастотного поля.

П1.3.5. Антенны трансивера

Желательно, чтобы выходной каскед трансивера имел низкоомный выход 50...75 Ом и высокоомный выход 300...600 Ом. Это позволит использовать совместно с трансивером как высокоомные, так и низкоомные антенны. Применение согласующего устройства совместно с трансивером крайне жвлательно. Это поможет «вытянуть» лишние десятки и сотни милливатт в антенну. Впрочем, в условиях похода эти милливатты никогда не бывают лишними...

Для работы малой мощностью хорошо подходят диполи, дельты, антенны типв I.V. Очень хорошо работает проволочная внтенна длиной 41 метр подключенная к трансиверу через согласующее устройство. Вертикальные штыравые антенны тоже можно использовать в походных условиях, но необходимо обратить серьезное внимание на их правильную установку. Вертикальная антенна малоэффективна при ее установке среди высоких деревьев. Необходимо использовать как можно большее число противовесов совместно с вертикальной антенной.

П1.3.6. Диапазоны работы

Как показывает опыт, наилучший диапазон для проведения ближних связей — это 80 метров. Даже при мощности в несколько ввтт на этом диапвзоне можно уверенно перекрыть расстояние до 300...500 км. Для более дальних трафиков лучше использовать высокочастотные диапазоны 40 и 20 метров. Диапазоны 15—10 метров использовать для трафика нецелесообразно ввиду нестабильности прохождения нв них, особенно вечером, когда обычно проходит трафик. Крайне желвтельно иметь договоренность о трафике не с одним, а с несколькими редиолюбителями из разных городов. Это значительно поднимет шансы на успешный трафик.

П1.3.7. Наушники, ключи и другие внешние устройства

Для работы с трансивером в похода желвтельно иметь не только автоматический телеграфный ключ, но и ручной. Автомвтический телеграфный ключ может обеспечить хорошую скорость передачи. На таком ключе удобно работать. К сожалению, автоматический телеграфный ключ, собранный на микросхемах, имеет неприятную тенденцию отсыревать в условиях похода. Вследствие этого он выходит из строя. Даже постоянная сушкв на солнце и около костра часто не могут восстановить работоспособность такого ключа. В этом случае приходится использовать простой ручной телеграфный ключ. Ручной ключ в условиях похода может находиться в самых немыслимых положениях. Радиолюбитель должен иметь соответствующую тренировку, чтобы работать на ручном телеграфном ключе в условиях экспедиции.

В походе необходимо использовать наушники с плотно облегающими амбрашюрами. Это даст возможность работать в дождь и сильный ветер, когда шум от этих природных явлений может очень большим. Телефоны в наушниках должны быть соединены только параллельно. Это позволит работать при выходе из строя одного из наушников.

В качестве аппаратного журнала можно использовать небольшой блокнот, записи вести простым карвндашом. Шариковая ручка для этих целей непригодна. Она может вытечь в жаркую погоду и замерзнуть в холодную. Желательно иметь несколько заточенных с двух концов карандашей. Карандаши в походных условиях часто теряются, поэтому необходимо иметь определенное место для них. Можно в самом трвнсивере установить небольшой пенал для карандашей.

Если в походе используется более одного трансивера, желательно, чтобы все их внешние устройства были взаимозаменяемыми. В трансиверах должны использоваться одинаковые антенные разъемы. Гнезда подключения телеграфного ключа и наушников должны иметь одинаковую распайку. Желательно, чтобы трансиверы питались от одинакового напряжения. Это даст возможность в случае выхода из строя этих элементов одного трансивера заменить их элементами другого. Длина проводов наушников и ключа должна быть достаточно большой, не менее 1,5 м. В условиях похода это часто бывает необходимо.

Желательно иметь небольшой набор рамонтных материалов: куски провода, олово, канифоль и медный стержень с приклепанной к нему железной ручкой для пайки.

Запомните еще одно важное правило. Перед походом по возможности воздерживайтесь от любых доработок в рабочем трансивере, предназначенном для похода, даже если эти переделки кажутся незначительными и легко осуществимыми. При выполнении какой-либо модификации в рабочем трансивере можно нечаянно вывести его из строя. Все переделки необходимо проводить хотя бы за месяц до начала похода, а не в последнюю ночь перед ним! Перед походом трансивер должен быть тщательно проверен. Если трансивер ненадежно работает в условиях комнаты, то в суровых полевых условиях он непременно подаедат.

П1.3.8. Безопасность при установке походных антенн

Если вы используете сборную металлическую мачту для установки на ней антенны, то эта мачта обязательно должна быть заземлена, особенно если мачта установлена в открытом поле или в горах. В этом случае попадание молнии в мачту становится чрезвычайно вероятным событием. Другое неприятное явление, которое возникает при этом, это ток статического электричества, протекающий через мачту. В сухую погоду, в предгрозовое время, от этого тока в трансивере будет стоять настоящий рев, делая невозможной работу трансивера. Чем лучше заземление мачты, тем меньше этот рев. Вообще же при приближении грозы и сильных ветров мачту лучше всего быстро валить на землю. При установке мачты антенны необходимо предусмотреть такую возможность. Выбирайте сами, что лучше: иметь сломанную антенную мачту и поврежденный статическим электричеством трансивер или переждать грозу, а затем снова появиться в эфире. Палатки необходимо располагать так, чтобы при падении мачта не могла повредить их.

К проволочным или веревочным оттяжкам мачты и антенны должны быть прикреплены широкие ленты хотя бы в метре около земли. Ленты могут быть из любого яркого или блестящего материала. Это сделает видимыми тонкие оттяжки и позволит не спотыкаться о них, особенно в вечернее и ночное время.

Помните, что опыт приходит с работой. Начав использовать связь в похода, вы сделаете ваш поход интересным и полезным для вашего хобби. Самое главное, поход будет более безопасным для всех остальных его участников.

П1.4. Экспедиционные телеграфные ключи

Во время проведения QRP-экспедиций возникла проблема использования надежного малогабаритного телеграфного ключа. Применение привычного для радиолюбителя стандартного телеграфного ключа осложнено тем, что этот ключ должен быть надежно закреплен к какому-либо основанию. Это в экспедиции не всегда возможно. Часто ключ держат в одной руке (или на колене) а другой рукой работают на нем. Конечно, достигнуть высоких скоростей передачи в таком случае нельзя.

Использование наиболее удобного электронного ключа связано со следующими проблемами. Во-первых необходимо дополнительное питание, во-вторых, электронный ключ на КМОП микросхемах обычно боится сырости. Вследствие этого он может выйти из строя в самый неподходящий момент.

Ниже рассмотрены две конструкции электронных ключей, в которых устранены перечисленные выше недостатки.

П1.4.1. Ручной ключ QRP-экспедиции

На протяжении многих QRP-экспедиций мной используется самодельная конструкция телеграфного ключа, показанная на рис. П1.2. Она состоит из прямоугольника из фольгированного стеклотекстолита, который присоединен к «земле» радиостанции и собственно манипулятора, выполненного из медной проволоки диаметром 3 мм.

Во время работы в эфире прямоугольник из фольгированного стеклотекстолита распола-

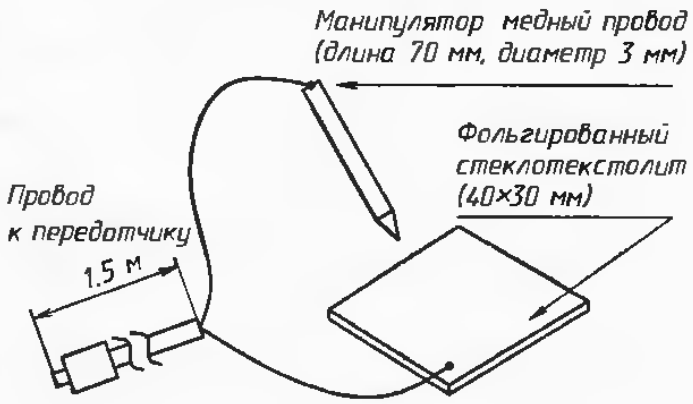


Рис. П1.2. Экспедиционный телеграфный ключ

гается в руке, на колене или на любом неподвижном основании. Манипуляция производится другой рукой. Этот кусочек стаклотекстолита можно приклеить липкой лентой к трансиверу, к дну палатки. При использовании ключа была возможна работа с самых неудобных позиций — лежа в палатке и даже лежа в спальном мешке.

Конечно, скорость передачи таким ключом невелика, до 60 знаков в минуту. Но она вполне достаточна для работы из QRP-экспедиций, гда не используют высокие скорости.

П1.4.2. Электронное ключевание для экспедиционного электронного ключа

При использовании в походах электронных телеграфных ключей, выполненных на микросхемах серии КМОП, выяснилось, что их электронная начинка очень чувствительна к сырости. Даже когда печатная плата ключа была залита парафином (который в случае необходимости ремонта легко удаляется с помощью горячей воды и бензина), сбои в работе ключа происходили из-за попедания капелек воды на контакты манипулятора.

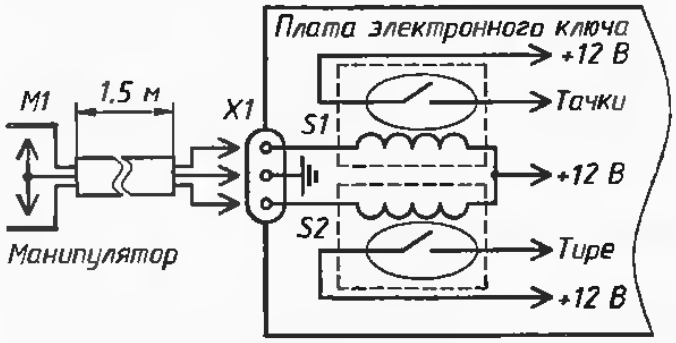


Рис. П1.3. Развязка манипулятора от электронной схемы ключа

Полностью устранить этот эффект мне помогла только герконовая развязка манипулятора от электронной схемы ключа. На рис. П1.3 показана схема этой развязки. Развязка была выполнена на малогабаритных герконах. Эти герконы были изъяты из старого герконового реле от телефонной станции. Герконы располагались на самой плате ввтоматического электронного ключа нвпосредственно около переключающей «точки—тире» микросхемы. Плата ключа с установленными на ней герконами была залита парафином. Манипулятор ключа был вынесен за пределы корпуса автоматического ключа.

Обмотка герконов была самодельной. Она была намотана проводом типа ПЭЛ 0,08 и содержала несколько тысяч витков. Ток, потребляемый обмоткой герконов, был в пределах 3...4 мА при напряжении питания ключа 12 В. Следовательно, переделка манипулятора практически не сказалась на экономичности ключа.

Ключ с таким манипулятором и залитой парвфином платой мог надежно работать под дождем. Ключ был работоспособен утром, когда плата ключа и контакты манипулятора были покрыты росой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование. — М.: ИП РадиоСофт — 2002.

Приложение 2
СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ АППАРАТУРЫ

Стабилизация частоты самодельного трансивера или приемника для радиолюбителей всех поколений представляла непростую задачу. Радиолюбителю требуется время для приобретения опыта, чтобы затем начать собирать трансиверы, частота которых не «плавает» и не «плачет».

Известно, что нестабильность частоты параметрического генератора, т. е. генератора, в котором значение частоты зависит от величины индуктивности катушки и емкости контурного конденсатора, зависит, во-первых, от стабильности параметров частотозадающих цепей, а во-вторых, стабильности параметров элементов, как пассивных, так и активных, составляющих схему генератора. Главным врагом для стабильности частоты генераторов является температура, вернее, ее дрейф. Преодолев влияние изменения температуры на работу частотозадающих цепей, можно создать стабильный генератор.

К сожалению, в реальности все не так просто. Более того, в настоящее время наблюдается интересная тенденция. Уровень развития радиоэлектроники с каждым годом растет, количество транзисторов на один миллиметр площади исчисляется в тысячах, а ствбильность частоты гетеродинов в большинстее самодельной рвдиолюбительской аппаратуре не повышается, а даже понижается.

Причины того, почему это происходит, почему многие старые ламповые самодельные конструкции приемников и трвнсиверов (например, знаменитый в свое время «UW3DI») «держат» частоту гораздо лучше многих современных самодельных трансиверов, мы рассмотрим ниже.

П2.1. Температурная нестабильность катушки и конденсатора

Нвиболее распространенной причиной изменения частоты генераторв является нвграв его деталей в процессе работы. Это связано с тем, что при изменении температуры радиодеталей изменяются их рвзмеры. Чем быстрее прогреваются, и следовательно изменяются в размерах, детали генератора, тем больше изменение частоты генератора. Радиолюбители хорошо знают этот эффект, который нвзывают «начальный выбег частоты». При включении аппаратуры в течение первых 15—30 минут происходит основной нагрев деталей генератора, вследствие этого частота генератора изменяется особенно значительно.

П2.1.1. Температурный коэффициент катушки и конденсатора

При нагревании увеличивается в размерах катушка индуктивности задеющего генератора. Вследствие этого увеличивается индуктивность этой катушки и понижается частота генератора. Относительное изменение значения индуктивности катушки индуктивности от ее температуры выражает в ТКИ.

ТКИ — темпервтурный коэффициент индуктивности показывает относительное измвнение индуктивности катушки при изменении ее температуры на 1 °С.

Для перестройки генераторов по чвстоте обычно используют переменные воздушные конденсаторы. При нагреве эти конденсаторы увеличиваются в размерах. С увеличением всех физических размеров переменного конденсатора происходит увеличение его емкости. Относительное изменение значения емкости конденсатора от его температуры выражается в ТКЕ. Нестабильность частоты генератора будет зависеть от типа конденсаторв, используемого в частотозадающей цепи.

ТКЕ — температурный коэффициент емкости поквзывает относительное изменение емкости конденсатора при изменении его температуры на 1 °С.

П2.1.2. Конденсаторы

Из переменных воздушных конденсаторов особенно нестабильны конденсаторы из алюминиевых сплавов. Эти конденсаторы переменной емкости широко используются в бытовых радиоприемниках. ТКЕ переменных конденсаторов, выполненных из алюминиевых сплавов и имеющих зазор между пластинами 0,3—0,6 мм, находится в пределах (100...200) · 10^{-6} град$^{-1}$.

Переменные конденсаторы, выполненные на основе медных сплавов (из кондвнсаторной латуни), меньше подаержены воздействию температуры. Для специальных целей производят высокостабильные переменные конденсаторы из нечувствительных к воздействию температуры сплавов, в частности из инвара. Для ствбильных конденсаторов используются высококачественные изоляторы. Высококачественные переменные конденсаторы иногда выпускают с посеребренным покрытием. Пластины конденсатороа из медных сплавов обычно имеют специальное защитное покрытие, допускающее пайку и исключающее коррозию пластин конденсатора при воздейотвии влаги. Высокостабильные пврембнные конденсаторы выполняют с зазором между пластинами 1...1,5 мм. ТКЕ высокостабильных переменных конденсвторов может быть в предалах $(10...30)\cdot 10^{-6}$ $гред^{-1}$. Они в 10—20 раз стабильнее, чем ТКЕ простых бытовых переменных конденсаторов сделанных из алюминия!

Итак, ситуация, складывающаяся с температурной стабильностью частотозадающих цепей генератора, получается непростой. ТКИ катушки, находящейся в частотозадающей цепи, имеет положительное значение. Конденсатор переменной емкости тоже имеет положительный ТКЕ. Следоввтельно, с прогревом частотозадающей цепи, содержащей такую катушку и такой кондансатор, его частота будет понижаться. Это явление хорошо знакомо каждому радиолюбителю. Частота трансивера или приемника при его включении плавно ползет вниз.

Включение нерационально сконструировввнного трансивера нв передачу может вызвать добавочное уееличение нестабильности частоты. Это связано с тем, что при работе на передачу выходной каскад трансивера проводит дополнительный нагрев внутренностей трансивера и, следовательно, деталей генератора. Частота во время передачи начинает плыть вниз. После окончания передачи детали выходного каскада остывают, температура внутри трансивера понижается, и частота снова начинает плыть, но уже вверх.

В частотозадающие цепи включены не только катушка индуктивности с переменным конденсатором, но и другие постоянные конденсаторы. При помощи этих добавочных конденсаторов производится температурная стабилизация частоты. Рассмотрим работу этих конденсвторов.

П2.1.3. Стабилизация частоты при помощи конденсаторов

На первый взгляд представляется логичным, что все конденсаторы с твердым диэлектриком тоже будут иметь положительный ТКЕ. Это дайствительно так, и большинство конденсаторов с твердым диэлектриком, выполненным из нвтуральных мвтериалов, обладает положительным ТКЕ. Однако диэлектрическая проницаемость синтетической конденсаторной керамики зввисит от температуры. При повышении температуры в зависимости от сорта керамики ее диэлектрическая проницаемость может увеличиваться или уменьшаться. Следовательно, используя специальные сорта конденсаторной керамики, можно изготовить конденсаторы постоянной емкости, имеющие ***отрицательный ТКЕ***.

Включив конденсатор, имеющий отрицательный ТКЕ, в частотозадающий контур, катушка и переменный конденсатор которого имеют соответственно положительный ТКИ и ТКЕ, можно произвести температурную стабилизацию частоты. По этой причине конденсаторы с отрицательным ТКЕ носят название ***термокомпенсирующих*** конденсаторов.

ТКЕ конденсатора обычно указывают на его корпусе рядом со значением емкости. Для некоторых старых типов конденсаторов прошлых лет выпуска ТКЕ указывает цвет корпуса. ТКЕ слюдяных конденсаторов (типа СГМ) можно определить по букве на его корпусе. Табл. П2.1 показывает обознвчение буквами соответствующих значений ТКЕ слюдяных конденсаторов и обозначение цветом корпуса ТКЕ керамических конденсаторов прошлых лет выпуска.

Обратите внимание, что для слюдяных конденсаторов ТКЕ указан как «+(-)». Для подавляющего большинства слюдяных конденсаторов ТКЕ положителен. Слюда, используемая в качестве диэлектрика в слюдяных конденсаторах, проходит специальную обработку, так называемую тренировку перед производством этих конденсаторов, в результате чего свойства слюды фиксируются, и достигается производство слюдяных конденсаторов с нормированным ТКЕ. Но с течением времени и при работе в определенном интервале температур некоторое количество слюдяных конденсаторов может приобрвсти отрицательный ТКЕ.

Таблица П2.1

ТКЕ слюдяных и «старых» керамических конденсаторов

Керамические конденсаторы		Слюдяные конденсаторы	
Цвет корпуса	ТКЕ (группа)	Группа по ТКЕ	ТКЕ на 1 °С
красный	М700	А	не норм.
оранжевый	не норм.	Б	$+(-)200 \cdot 10^{-6}$
зеленый	М1300	В	$+(-)100 \cdot 10^{-6}$
синий	П120	Г	$+(-)50 \cdot 10^{-6}$
серый	П30	Д	$+(-)120 \cdot 10^{-6}$
белый	М80		
голубой	М50		

М — ТКЕ отрицателен (минус)
П — ТКЕ положителен (плюс)

Радиолюбитель может считать, что ТКЕ слюдяных конденсаторов имеет положительнов значение. Необходимо помнить, что слюдяные конденсаторы в особенности и некоторые дешевые керамические обладают неприятным эффектом, который носит название ***«мерцание емкости»***.

Эффект «мерцения емкости» проявляется в виде быстрых, нерегулярных изменениях емкости и потерь конденсатора, находящегося под напряжением высокой частоты. Если мерцающий конденсатор находится в частотозадающем контуре, частота этого контура тоже будет хаотически меняться.

Попадание такого конденсатора в частотозадающий контур приведет к нестабильной работе генератора... При изготовлении специальных немерцающих керамических конденсаторов используют как минимум трехкратное серебрение керамики. Керамический диэлектрик имеет повышенную толщину. Работа конденсаторов при пониженном высокочастотном напряжении уменьшает эффект мерцания. Однако выпускаются специальные немерцающие конденсаторы, которые могут работать под значительным высокочастотным напряжением.

На конденсаторах многих типов, выпускаемых в последние годы, их параметры — допуск, напряжение и ТКЕ, кодируются буквами латинского алфввита. В маркировке таких конденсаторов первая буква после обозначения их номинала указывает допустимое отклонение в процентах, вторая — ТКЕ, третья (может и не быть) — напряжение. В конденсаторах, где ТКЕ не является существенной величиной, например в электролитических, вторая буква всегда означает напряжение. Табл. П2.2 показывает буквенное обозначение ТКЕ для совраменных типов конденсаторов.

Таблица П2.2

Буквенное обозначение ТКЕ

ТКЕ	П100	П60	П33	МП0	М33	М47	М75	М150	М220
Маркировка	A	G	N	C	H	V	L	P	R
ТКЕ	М330	М470	М750	М1500	М2200	М3300			
Маркировка	S	T	U	V	K	Y			

МП0-конденсатор имеет нулевой ТКЕ, т. е. при изменении температуры емкость конденсатора не изменяется.

Для конденсаторов, выполненных из низкочастотной керамики, параметр ТКЕ не используют. Используют обозначения Н10...Н90, где цифра обозначает воз-

можное отклонение емкости конденсатора в процентах в интервале температур от –60 до +85°С относительно емкости конденсатора при температуре 20°С. Конечно, такие конденсаторы ни в коем случае нельзя применять в частотозадающих цепях! В некоторых современных типах конденсаторов это отклонение емкости указывается латинской буквой. Табл. П2.3 приводит эти буквенные обозначения для конденсаторов из низкочастотной керамики.

Таблица П2.3

Буквенное обозначения конденсаторов из низкочастотной керамики

Отклонение емкости	Н10	Н20	Н30	Н50	Н70	Н90
Маркировка	В	Z	D	X	E	F

Итак, при помощи термокомпенсирующего конденсатора нам необходимо произвести компенсацию температурной нестабильности, во-первых, конденсатора с воздушным диэлектриком, использующимся для перестройки по частоте этого генератора, а во-вторых, катушки индуктивности генератора. Если компенсацию температурной нестабильности переменного конденсатора с воздушным диэлектриком произвести относительно несложно, то при обеспечении температурной компенсации катушки индуктивности могут возникнуть серьезные сложности.

П2.1.4. Катушка индуктивности в схеме генератора

Катушка индуктивности является основным элементом, вносящим нестабильность в частотозадающую цепь генератора. В отличие от конденсаторов катушки индуктивности, выпускающиеся радиозаводами России не являются унифицированными деталями. Это означает, что радиозаводы не выпускают катушек с определенной индуктивностью и ТКИ. При выпуске определенного изделия, содаржащего катушки индуктивности, завод, выпускающий это изделие, обычно сам производит для него катушки индуктивности, пользуясь при этом своими специфическими требованиями.

То же самое сейчас касается многих радиолюбителей. Делая какую-то конструкцию, радиолюбитель часто самостоятельно изготавливает для нее катушки индуктивности. В наш век всеобщей унификации такое положение дел кажется даже немного странным... Впрочем, на Западе уже давно производят унифицированные катушки индуктивности, которыми широко пользуются как а промышленности, так и радиолюбители.

Выполнение самостоятельно стабильной катушки, предназначенной для работы в частотозадающей цепи, представляет собой сложную задачу. Без необходимого опыта, без соответствующих материалов радиолюбитель не сможет с ней справиться. Поэтому, если есть возможность, необходимо использовать в частотозадающей цепи катушку индуктивности от какого-либо промышленного устройства. Причем эта катушка должна быть выполнена с учетом мер, обеспечивающих ее стабильность.

Что же влияет на стабильность параметров катушки индуктивности? Конечно, наиболее значительным по своему влиянию фактором является температура. С увеличением температуры увеличиваются размеры катушек и, следовательно, возрастает их индуктивность. Но температура влияет не только на ТКИ. При увеличении температуры возрастают диэлектрические потери в материале, из которого сделан каркас катушки и увеличивается активное сопротивление провода катушки. В разультате этого добротность катушки понижается. Понижение добротности в катушках промышленного изготовления может составить 10% при увеличении температуры катушки на 30 °С. Для самодельных катушек снижение их добротности при нагревании может составить еще большую величину, что ведет к уменьшению амплитуды генерируемых колебаний и к возрастанию шума генератора.

Конечно, самым неприятным для радиолюбителя является то, что при увеличении температуры катушки возрастает ее индуктивность. ТКИ катушек промышленного изготовления, используемых в частотозадающих цепях, может быть в пределах от (10...300) · 10^{-6} град$^{-1}$. Катушки, имеющие небольшой ТКИ, являются весьма дорогими в изготовлении. Для изготовления их каркаса используются специальные материалы, применяются специальные способы намотки.

Но, как правило, катушка индуктивности, выполненная без специальных элементов температурной компенсации, будет иметь положительный, пусть даже небольшой, ТКИ. Обычно для приведения ТКИ катушки, используемой а частотозадающей цепи, к нулевому значению применяют компенсацию индуктивности катушки при помощи ее сердечника. В высококачественных катушках используют компенсацию при помощи сердечников, размещенных внутри катушки. Они выполняются из специальных немагнитных металлических сплавов из меди или из алюминия. При нагревании сердечник расширяется и уменьшает индуктивность катушки. Для недорогих катушек для температурной компенсации используют специальные ферритовые сердечники. При увеличении температуры магнитная проницаемость ферритовых сердечников (ТКМП) уменьшается, что приводит к уменьшению индуктивности катушки.

ТКМП — температурный коэффициент магнитной проницаемости, который показывает относительное изменение проницаемости материала при изменении его температуры на 1 °С.

ТКМП ферритовых изделий может находиться в пределах (20...2000) · 10^{-6} град$^{-1}$. Небольшими значениями ТКМП обладают высококачественные ферриты, предназначенные для использования в катушках частотозадающих цепей.

Влияет на магнитную проницаемость сердечника наличие внешнего магнитного поля. Оно может быть вследствие прохождения постоянного тока через катушку индуктивности. Для исключения изменения магнитной проницаемости сердечника за счет изменения внешнего магнитного поля, которое может произойти при изменении постоянного тока, протекающего через катушку, генераторы, в которых используется катушка с ферритовым сердечником, собирают по схеме, где исключается протекание постоянного тока через катушку.

Итак, для того, чтобы катушка индуктивности обледела малым ТКИ, она должна быть изготовлена соответствующим образом и из соответствующих материалов. Например, каркас катушки должен иметь определенную толщину. Обмотка катушки должна иметь определенное количество витков... Термокомпенсирующий сердечник должен находиться в определенной части катушки... И т. д. Для того, чтобы изготовить действительно стабильную катушку индуктивности для какого-то серийного изделия, необходимо провести множество практических экспериментов. Это кроме предварительных расчетов самой катушки. Поэтому мой совет радиолюбителю, в руки которого попадет специальная катушка, предназначенная для работы в частотозадающей цепи. Используйте ее только в оригинальном виде. Не крутите ее сердечник. Используйте только полное включение витков катушки. Включение части витков катушки приведет к увеличению ТКИ для этой катушки. Если катушка помещена в герметично запаянный корпус, не распаивайте его. Распайка корпуса катушки приведет к существенному повышению ее ТКИ, а также к понижению ее добротности. Ничего не подпаивайте к виткам катушки, все это обязательно скажется на ее стабильности.

При использовании в схеме генератора стабильной керамической катушки понадобятся стабильные конденсаторы, имеющие низкое значение ТКЕ. Обычно требуются конденсаторы имеющие группу ТКЕ МП (нулевой), МЗЗ-47, ПЗЗ-47-100. Из этих конденсаторов комбинируется термокомпенсирующий конденсатор, который подключается к катушке индуктивности. Использование конденсаторов с большим значением ТКЕ нежелательно. Температурная стабильность частоты генератора в этом случае понизится. Использовать конденсатор с большим значением

ТКЕ — М330—М750 можно только в том случае, если этот конденсатор имеет величину емкости не менее чем в дасять раз меньшую, чем суммарная емкость контура, составленная из «хороших» конденсаторов.

П2.1.5. Старые катушки

Не всегде в руки радиолюбителя попадает катушка индуктивности, изъятая из аппаратуры, которая работала в нормальных условиях. Часто попадаются катушки, выпаянные из аппаратуры, которая хранилась в неподходящих условиях, например в сырых помещениях или на открытом воздухе.

Для многих однослойных катушек на керамическом каркасе пребывание во влажных условиях не сказывается на дельнейшем изменении их параметроа. Если от влаги обмотка катушки не корродировала, то после тщетельной просушки первоначальные параметры катушки практически полностью восстанавливаются.

Для катушек, выполненных на пластиковом каркасе, пребывание во влажных условиях и под действием солнечных лучей может оказаться губительным. Каркас катушки под воздействием этих условий может безнадежно деформироваться и даже разрушиться. Подвержены пластмассовые каркасы старанию. Вследствие этого параметры катушки могут стать неудовлетворительными для ее использования в частотозадающих цепях. Многослойные катушки, которые подверглись воздействию влаги, могут не восстановить свои параметры даже после их тщательной просушки.

Влага может повредить ферритовый сердечник: он может корродировать и рассыпаться.

П2.2. Другие детали генератора

Рассмотрим, как влияют на работу генератора другие составляющие его детали. Это активные элементы — лампы и транзисторы и пассивные элементы — резисторы.

П2.2.1. Лампы и транзисторы

Параметры радиоламп в процессе работы практически не изменяются, при условии работы радиолампы в нормальном для нее режиме, или эти изменения носят длительный по времени характер, который не может сказаться на изменении частоты генератора за относительно небольшой промежуток времени, например час или день. Естественные изменения температуры окружающей среды мало влияют на изменение параметров радиолампы. Это происходит потому, что внутренняя механическая конструкция лампы отделена от окружающей среды, во-первых, вакуумом, а во-вторых, стеклянным баллоном лампы. Вот почему лампа при умелом выборе схемы генератора и режимов ее работы практически не вносит температурного влияния в частотозадающую цепь. Для обеспечения стабильности работы лампового генератора остается только произвести температурную компенсацию деталей частотозадающей цепи. Обычно справиться с этим может даже не очень опытный радиолюбитель.

Иное дело при использовании в генераторе транзисторов. Параметры транзисторов при изменении температуры изменяются. Это относится как к биполярным кремниевым и германиевым, так и к полевым кремниевым транзисторам.

Поэтому при конструировании транзисторных генераторов стремятся максимально ослабить влияние изменения параметров транзистора на частотозадающий контур. Для этого используют специальные схемы генераторов. Могут быть использованы термокомпенсирующие резисторы, уменьшающие влияние изменения температуры на транзистор. Все это усложняет схему транзисторного генератора.

Используется слабая связь контура с транзистором. С одной стороны, это уменьшает влияние транзистора на частотозадающий контур, но, с другой стороны, увеличивает шумовую составляющую генератора. Это приводит к невозможности приема слабых станций, делает сигнал трансивера «шумным».

Многие замечали разницу в приеме слабых станций между ламповым и транзисторным аппаратом, имеющих, казалось бы, одинаковую чувствительность. Сравнение идет обычно не в пользу транзисторного аппарата. Только применяя специальные схемотехнические методы в транзисторной аппаратуре можно достигнуть тех результатов, какие в простой ламповой аппаратуре можно получить как бы само собой...

Итак, используя задающий ламповый генератор, приходится применять меры температурной стабилизации только параметров частотозадающего контура. Используя транзисторный генератор приходится стабилизировать и частотозадающий контур, и параметры транзистора при изменении температуры. Это не всегда можно обеспечить простыми методами. Еще труднее обеспечить температурную стабильность работы генераторов, собранных на микросхемах, например на 174ХА2, 174ХА10, а также генераторов, в которых для изменения частоты используются варикапы.

Если вы хотите построить радиостанцию, которую будете использовать исключительно дома, и не хотите долго возиться с настройкой ее гетеродина, но в то же время хотите, чтобы гетеродин имел приличную температурную стабильность, смело выполняйте гетеродин на лампах. Можно использовать пальчиковые миниатюрные лампы как 6,3-, так и 2,4-, 1,2-вольтовой серии. Тем более что при использовании современных миниатюрных ламп можно собрать гетеродин по размерам не больше транзисторного, но гораздо стабильнее его в работе. Если же аппаратура будат использована в полевых условиях, то, естественно, ГПД должен быть выполнен на транзисторах, и здесь необходимо принять самые серьезные меры по стабилизации его частоты.

П2.2.2. Резисторы и питание

Конечно, предполагается, что генератор питается от стабильного напряжения. Температурные изменения сопротивления резисторов, используемых в схеме генератора, обычно мало влияют на его частотную стабильность.

П2.3. Температурная инерция и термостатирование

Обратите внимание на температурную инерцию аппарата. Чем она больше, т. е. чем толще стенки трансивера, грубо говоря, чем больше он весит, тем выше его температурная стабильность.

П2.3.1. Чем больше, тем лучше

Как пример можно привести работу старой ламповой аппаратуры. Старые ламповые приемники и трансиверы обычно изготавливались на «солидном» тяжелом металлическом корпусе, имеющем большую тепловую инерцию. Поэтому требуется довольно большое время, чтобы преодолеть ее и изменить температуру шасси и, следовательно, параметры цепей гетеродина. Нагрев лампами внутреннего пространства корпуса аппарата создает некоторый термостационный эффект, когда температура внутри корпуса с течением некоторого времени стабилизируется. Требуется значительное воздействие, чтобы быстро изменить температуру внутри корпуса лампового аппарата.

Можно провести наглядный опыт: поставить на сквозняк старый ламповый приемник, даже не связной, а вещательный, 3—4 класса, а рядом с ним новый транзисторный приемник 1—2 класса, настроенные на одну радиостанцию. Частота в транзисторном приемнике «убежит» гораздо быстрее, чем в ламповом приемнике.

П2.3.2. Термостатирование

При использовании транзисторных генераторов термостатирование позволяет очень просто добиться стабильной работы генератора. В этом случае полностью весь генератор помещается в какой-либо термоизолирующий корпус, в котором поддерживается постоянная температура. Такой корпус можно склеить из пенопласта. Для работы генератора в условиях комнаты можно выбрать температуру работы генератора в пределах 50...60 °С. Если аппарат, в котором используется термостатированный генератор предполагают использовать в полевых условиях или в автомобиле, то необходимо предпринимать меры, исключающие перегреа этого аппарата. В противном случае температуру термостатирования придется поднять до 70 °С.

П2.4. Синтезаторы частоты

Применение синтезаторов частоты в высокочастотных генераторах уже становится обычным делом для многих радиолюбителей. Наверное, в скором будущем проблема «ухода» частоты при изменении температуры просто исчезнет.

П2.4.1. Будущее за синтезаторами

Если бы в мире использовали стабилизацию частоты генераторов только термокомпенсационными методами, мы бы никогда не имели переносных УКВ радиостанций, сотовых телефонов и других чудас техники XXI века. Только применение синтезаторов частоты позволило создать малогабаритные и стабильные высокочастотные генераторы для этих устройств.

Более того, современные микросхемы синтезаторов частоты позволяют самостоятельно достаточно просто построить стабильный и миниатюрный генератор без использования дорогих стабильных керамических катушек и термокомпенсирущих конденсаторов.

Приложение 3
АККУМУЛЯТОРЫ

Аккумуляторы стали обязательной составной частью многих современных радиоэлектронных устройств. Это приложение дает несколько советов по правильной эксплуатации аккумуляторов в радиолюбительских условиях.

П3.1. Зарядка аккумуляторов с помощью солнечных батарей

Для обеспечения работы редиоэкспедиций часто применяют никель-кадмиевые аккумуляторы (НКА). Но с течением времени работы в эфире НКА необходимо подзаряжать. В условиях экспедиционной работы одним из наилучших вариантов подзарядки аккумуляторов является использование солнечных батарей. Энергия Солнца вполне сможет обеспечить работу по зарядке аккумуляторов. Разберем принципы использования солнечных батарей для зарядки аккумуляторов.

П3.1.1. Тип солнечной батареи

Наиболее распространенными в странах СНГ являются солнечные батареи типа БСК-1, БСК-2, Электроника МЧ/1. Эти батареи выпускают или ранее выпускали многие радиоэлектронные заводы. Можно встретить в продаже импортные, в основном китайские и корейские, солнечные батареи, с параметрами, сравнимыми с батареями типов БСК-1, БСК-2, Электроника МЧ/1.

Эти солнечные батареи могут обеспечить зарядный ток аккумулятора в пределах 35—50 мА, не более того. Причем это будет при хорошем солнечном освещении. Следовательно, с помощью широко распространенных солнечных батарай можно обеспечить заряд маломощных аккумуляторов, имеющих емкость не более 0,45 А/ч. Замечу, что широко распространенные аккумуляторы типа ЦНК-0,45 как раз имеют такую емкость...

Необходимо также учитывать, что в середине лета, в июле, световой период, в который батарея эффективно отдает энергию, обычно длится не более 7—9 часов. Наиболее эффективное время для работы солнечной батареи с 10 до 17 часов. До и после этого времени ток солнечных батарей падеет. Падает ток, генерируемый солнечной батареей в облачную погоду. Некоторая ориентировка солнечных батарей относительно положения солнца помогает увеличить генерируемый ими ток, но... Попробуйте сами покрутить батареи в поисках их лучшего освещения и убедитесь, что это нелегкое дело.

Что же можно предпринять для увеличения тока, генерируемого солнечной батареей? Наиболее просто ток солнечных батарей можно увеличить при помощи их параллельного включения. Конечно, необходимо включать солнечные батареи, имеющие одинаковое количество элементов и, следовательно, обеспечивающих одинаковое напряжение фото ЭДС. Но все же параллельное включение солнечных батарей, как это показано на рис. П3.1, нежелательно. Лучшие результаты будут получены при параллельном включении элементов солнечных батарей, как это показано на рис. П3.2.

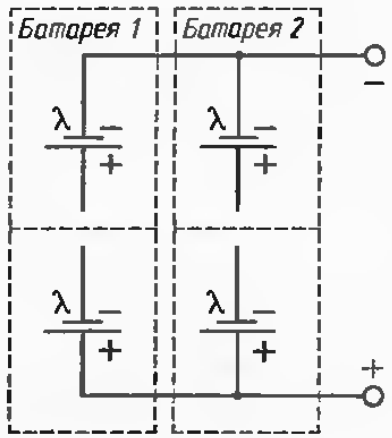


Рис. П3.1. Нежелательное включение солнечных батарей

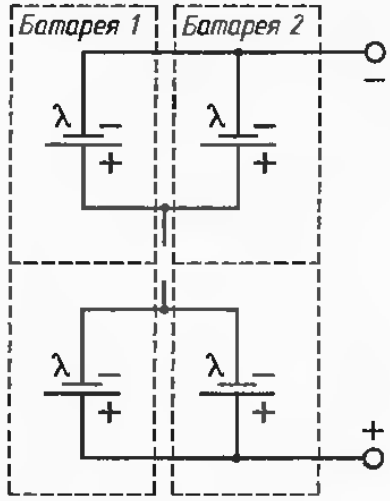


Рис. П3.2. Параллельное включение элементов солнечных батарей

Давайте разберам, почему нежелательно параллельное включение солнечных батарей, показанное на рис. П3.1. Вследствие разной освещенности солнечных батарей генерируемые ими напряжения будут немного отличаться друг от друга. Эффективно будет работать только одна солнечная батарея. При включении солнечных элементов по схеме, показанной на рис. П3.2, напряжения, генерируемые ими, более равномерно распределяются по солнечной батарее. Вследствие этого частичное затенение части элементов не принесет большого вреда для работы солнечной батареи. Однако параллельное включение потребует распайки готовых батарей, а затем новое включение их элементов между собой. Работа достаточно нудная, коса из проводов между батараями... Но если необходим большой ток, то эту работу все же придется выполнить.

Для увеличения напряжения солнечной батареи можно включать последовательно сколько угодно солнечных элементов. Напряжение такой солнечной батареи будет равно сумме напряжений на всех составляющих ее солнечных элементах. Ток, отдаваемый этой батареей, будет огрвничен током худшего элемента.

Самый главный недостаток солнечных элементов, на мой взгляд, это их относительная дороговизна. Но этот недостаток окупается эффективной работой заряжаемых ими аккумуляторов.

П3.1.2. Зарядка/подзарядка аккумуляторов

Итак, при достаточном количестве солнечных элементов можно создать солнечную батарею с практически любыми напряжением и током и способную обеспечить зарядку любого типа аккумуляторов. Все дело только в стоимости такой солнечной батареи. Конечно, не следует забывать, что мощная солнечная батарея будет занимать большую площадь для своей установки. Следует также заметить, если полноценное солнечное освещение батареи бывает ограниченное время суток, то желательно использовать солнечную батарею, обеспечивающую ускоренный зарядный ток, величина которого находится в пределах 0,15...0,3 от емкости аккумуляторов.

Обычно в радиоэкспедициях эффективная работа возможна в вечернее и ночное врамя. В это время прохождение нв многих диапазонах улучшается, появляется много местных станций. Использование солнечной батареи позволяет вечером и ночью разрядить аккумуляторы во время работы в эфире, а днем произвести их подзарядку.

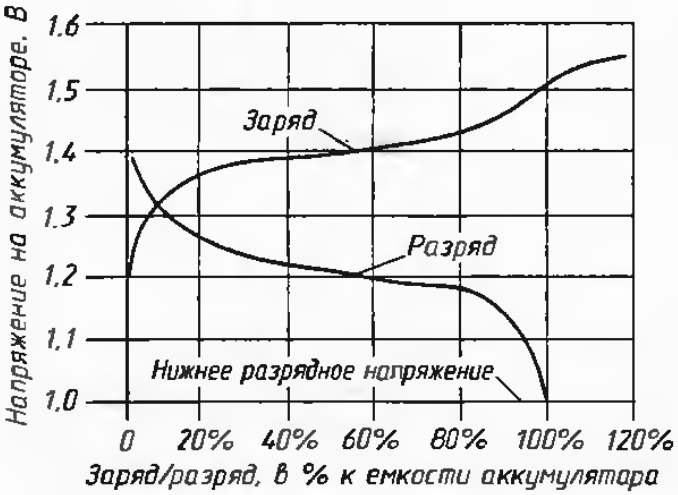


Рис. П3.3. Разрядная и зарядная характеристика никель/кадмиевого аккумулятора

Если же солнечная батарея обеспечивает ток, меньший чем номинальный зарядный ток, менее 0,08 от емкости аккумуляторов, то в данном случае речь может идти не о ***зарядке***, а только о ***подзарядке*** аккумуляторов. Это означает, что в светлый период времени солнечная батарея должна быть постоянно подключена к аккумулятору, все это время постоянно подзаряжая его. При этом необходимо контролировать, чтобы во врамя работы аккумуляторной батараи напряжение на одном элементе аккумулятора было бы не ниже 1,2...1,15 В. При напряжении ниже 1,15 В аккумулятор необходимо снять с работы и поставить на зарядку. В противном случае за короткое время напряжение на элементах аккумулятора упадет до 1,1 В и такую разряженную аккумуляторную батарею уже невозможно будет использовать в экспедиции без серьезной зарядки. Это указывает на то, что в экспедиции обязательно необходимо контролировать напряжение на аккумуляторной батарее под нагрузкой. Разрядная и зарядная характеристика одиночного аккумулятора показана на рис. П3.3.

Для дальнейшего понимания процесса зарядки солнечной батареей аккумулятора рассмотрим характеристики элемента солнечной батареи. Зависимость тока одного элемента солнечной батареи типа БСК-2 от напряжения на нем показана на рис. П3.4. Этот график снят при оптимальном освещении солнечного элемента.

График типичен и для других солнечных элементов. Конечно, значение максимального тока будет зависеть от мощности солнечного элемента. Для снятия графика к освещенному солнечному элементу подключают переменный резистор. Изменяют сопротивление переменного разистора и измеряют ток, поступающий в резистор и напряжение на солнечном элементе. Схема для снятия вольт-амперной характеристики солнечного элемента показана на рис. П3.5.

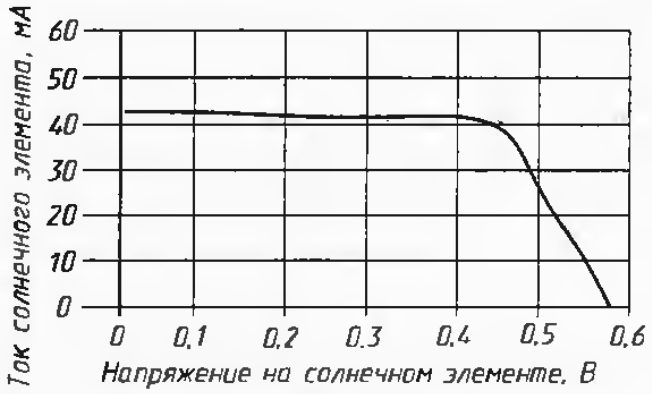


Рис. П3.4. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

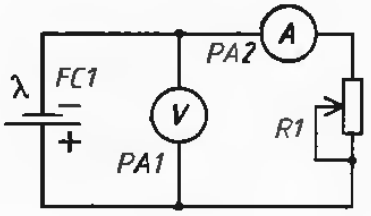


Рис. П3.5. Схема для снятия вольт-амперная характеристики солнечного элемента

При работе солнечного элемента без нагрузки напряжение фото ЭДС на нем составит около 0,6 В. При подключении нагрузки, а затем при уменьшении ее сопротивления ток в нагрузке начнет увеличиваться. Напряжение на нагрузке при этом начнет снижаться. Напряжение примерно 0,45 В на нагрузке является оптимальным режимом работы солнечного элемента. При попытках увеличить отбор тока напряжение на солнечном элементе падает, а ток, который он генерирует, продолжает оставаться практически неизменным. Это говорит о том, что солнечная батарея является почти идеальным источником тока, то, что как раз и надо для зарядки аккумуляторов!

Для схемы измерения тока солнечного элемента (см. рис. П3.5) был построен график зависимости рассеиваемой мощности на сопротивлении нагрузки солнечного элемента. График показан на рис. П3.6. Этот график снят при оптимальном освещении солнечного элемента. Для постройки графика измерялось нагрузочное сопротивление солнечного элемента при различных напряжениях на нем. Затем, исходя из значения сопротивления нагрузки и тока, протекающего через нагрузку, был построен график мощности, рассеиваемой в нагрузке. Из этого графика видно, что максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку солнечным элементом, будет при напряжении на нагрузке 0,45 В. Оптимальное напряжение на нагрузке (0,45 В) отличается от напряжения фото ЭДС (0,6 В) в 0,75 раз.

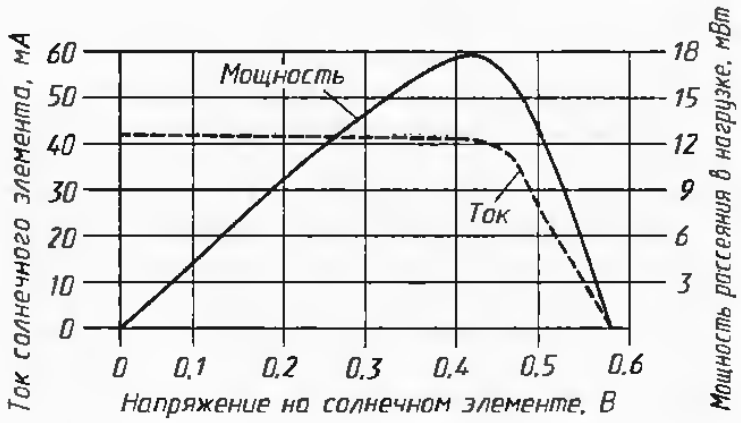


Рис. П3.6. График зависимости рассеиваемой мощности в сопротивлении нагрузки от напряжения на ней

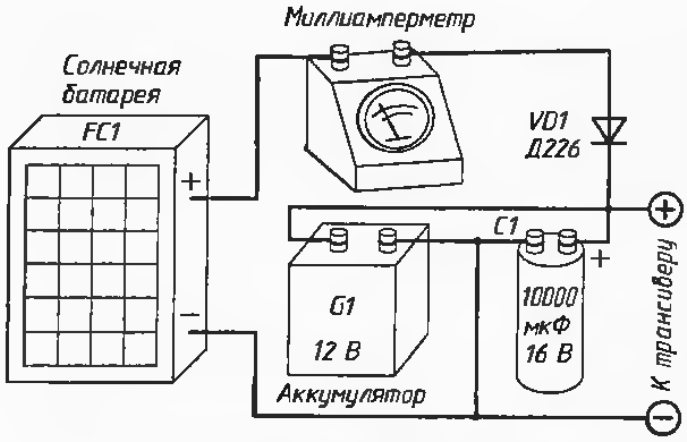


Рис. П3.7. Подключение солнечной батареи к аккумуляторам

Следовательно, для зарядки аккумуляторов можно применить солнечную батарею, которая имеет максимальный генерируемый ток, примерно равный току зарядки аккумуляторов. В этом случае солнечная батарея автоматически будет производить зарядку аккумуляторов необходимым зарядным током при ее освещении. Батарею необходимо подключать к аккумуляторам через диод, как показано на рис. П3.7. Это необходимо потому, что при неблагоприятном солнечном освещении напряжение на солнечной батарее может упасть ниже, чем напряжение на заряжаемых аккумуляторах. В этом случае аккумуляторы вместо своего заряда разрядятся через внутреннее сопротивление солнечной батареи. Буферный конденсатор С1 необходим, если аккумуляторы будут использоваться для работы во время своей зарядки/подзарядки.

Последовательно с солнечной батареей включен миллиамперметр, который показывает, какой величины ток потребляет аккумулятор от солнечной батареи. А это дает возможность судить, находится ли аккумулятор под зарядным током или транировочным и вообще работает ли а данный момент солнечная батарея или нет. В качестве миллиамперметра удобно использовать индикатор записи от старого магнитофона.

Шунт для этого индикатора записи сделать достаточно просто. На резистора типа МЛТ-0,5 наматываем 1 м провода типа ПЭЛ-0,1. Подключаем шунт параллельно микроамперметру и определяем, какой максимальный ток он при этом может измерять. Допустим, получилось 100 мА. А для заряда аккумуляторов используется солнечная батарея с максимальным током 40 мА. Следовательно, удобно иметь максимальную шкалу в 50 мА. Для получения такого максимального тока отклонения микроамперметра сопротивление шунта необходимо увеличить в даа раза. Для этого необходимо увеличить длину провода шунта до деух метров. Аналогично можно провести практическую подгонку шунта и для других токов отклонения миллиамперметра.

В походных условиях можно считать процесс зарядки аккумуляторной батареи оконченным, если напряжение на ее элементах под нагрузкой составляет не менее 1,25 В на элемент и их ЭДС составляет не менее 1,36 В на элемент.

Если же солнечная батарая используется только для подзарядки аккумуляторов, то ее необходимо производить по мере необходимости — по мере разряда аккумуляторов. При неблагоприятных условиях подзарядка может даже продолжаться целый световой день. Ночью солнечные батареи нет необходимости отключать от аккумуляторов, поскольку они будут отключены автоматически с помощью диода VD1 (см. рис. П3.7).

П3.1.3. Расчет параметров солнечной батареи

Приведем пример расчета солнечной батареи, необходимой для зарядки аккумуляторов. Как показано на графиках рис. П3.3, во время зарядки аккумулятора напряжение на нем будет находиться в пределах 1,4 В. Для питания аппаратуры в полевых условиях обычно применяют напряжение питания 12 В. Такое напряжение могут обеспечить 10 никель-кадмиевых аккумуляторов, включенных последовательно. Для их зарядки необходимо обеспечить напряжение на них, равное 14 В

(10 · 1,4 = 14). При максимальном КПД работы солнечной батареи, когда напряжение на одном солнечном элементе составит 0,45 В, напряжение 14 В может обеспечить солнечная батарея, состоящая из 31 элемента (14 / 0,45 = 31).

Учтем падение напряжение на диоде, равное 0,7 В. Следовательно, солнечная батарея должна иметь еще два лишних элемента. Суммарное количество солнечных элементов в батарее в этом случае будет равно 33 (31 + 2 = 33). Напряжение фото ЭДС солнечной батареи, содержащей 33 элемента, составит 19,8 В. Итак, мы подошли к важной вещи. Оказывается, для зарядки аккумуляторной батареи напряжением 12 В необходима солнечная батарея напряжением фото ЭДС почти 20 В! Такую батарею можно собрать самостоятельно, используя отдельные солнечные элементы или несколько готовых солнечных батарей.

В паспорте на солнечные батареи указывают как раз напряжение фото ЭДС. В продаже имеются солнечные батареи на напряжения фото ЭДС, рааное 12 и 9 В. Следовательно, при оптимальном сопротивлении нагрузки (см. рис. П3.6) напряжение на этих батареях составит 6,75 В для 9-вольтовой солнечной батареи, 9 В — для 12-вольтовой солнечной батареи.

Две последовательно включенные солнечные батареи, имеющие напряжение фото ЭДС 9 и 12 В, можно с успехом использовать для зарядки 12-вольтовой аккумуляторной батареи. Превышение суммарного напряжения, которое для двух батарей составит 21 В, расчетного напряжения 20 В на 1 В не страшно. Это превышение будет компенсировано некоторым уменьшением выходного напряжения солнечной батареи которое произойдет из-за неравномерного освещения элементов, составляющих солнечную батарею. Конечно, следует не забывать, что ток солнечных батарей не должен превышать зарядный ток аккумуляторов.

Две последовательно включенные солнечные батареи на напряжение 9 В не смогут обеспечить полную зарядку аккумуляторной батареи. Они осуществят лишь ее подзарядку до уровня не более 20% от необходимого заряда (см. рис. П3.3). Однако подключенная к 12-вольтовой аккумуляторной батарее солнечная батарея с фото ЭДС 18 В поможет разгрузить режим работы этой аккумуляторной батареи. Она сможет сгладить пиковые токовые нагрузки и обеспечит по мере своих сил подзарядку аккумуляторов.

П3.1.4. Эксплуатация солнечных батарей

При использовании солнечных батарей необходимо стремиться к тому, чтобы они были размещены на максимально освещенном месте и были освещены одинаково. Необходимо принять меры, исключающие механическое повреждение батарей, а также прямое воздействие на них влаги и пыли. При транспортировке необходимо избегать тряски солнечных батарей.

Необходимо соблюдать температурный режим солнечных батарей, который указан в их паспорте. Обычно это –40...+50°С. Летом в жаркую погоду необходимо располагать солнечные батареи на поверхности, мало подверженной нагреванию, например на отрезе белой материи или на блестящей алюминиевой фольге. Этот материал слабо нагревается и обеспечивает удовлетворительную работу расположенной поверх него солнечной батареи.

Необходимо отметить, что никель-кадмиевые аккумуляторы, как и сухие батареи, тоже плохо работают при повышенных и пониженных температурах. Понижение температуры аккумулятора ниже 0°С приводит к значительному понижению их мощности.

П3.1.5. Результаты испытания солнечных батарей

Практические испытания солнечных батарей совместно с аккумуляторными батареями показали большую эффективность такой совместной работы.

На практике мной были использованы несколько комплектов солнечных батарей. Один комплект обеспечивал напряжение фото ЭДС 18 В. Он был составлен из

даух солнечных батарей на напряжение 9 В. Позже мне удалось приобрести солнечную батарею на напряжение 12 В. В результате этого появилась возможность использовать комплект солнечных батарей на напряжение 21 В. Эти солнечные батареи обеспечивали ток в нагрузке пределах 40 мА.

Первое время эксперименты проводились совместно с солнечной батареей, имеющей напряжение фото ЭДС 18 В. Солнечная батарея была постоянно подключена к аккумуляторам по схеме, показанной на рис. П3.7. Солнечная батарея на напряжение 18 В обеспечивала успешную подзарядку аккумуляторной батареи с использованием элементов ЦНК-0,45 и 1,5-НКГН. К сожалению, только подзарядку. Интенсивно разряженные во время ночной работы аккумуляторы такая солнечная батарея уже зарядить не смогла. В результате этого на следующую ночь аккумуляторы работали непродолжительное время.

Однако при небольших нагрузочных токах аккумуляторов такая солнечная батарея была довольно полезной. Во время светлого периода она обеспечивала постоянную подзарядку аккумуляторов, дврржала их под тренировочным током, что благоприятно сказывалось на работе аккумуляторов и они совместно с солнечной батареей работали гораздо дольше, чем без нее.

Но совсем иная картина была при использовании солнечной батареи на напряжение 21 В, которая была составлена из батарей на напряжение 9 и 12 В. Эта солнечная батарея позволила производить ***зарядку аккумуляторов*** во время светового дня, причем этой зарядки вполне хватало для интенсианой вечерней работы трансивера мощностью 1 Вт. Конечно, оптимальной такую солнечную батарею надо считать только для зарядки аккумуляторов типа ЦНК-0,45, имеющих зарядный ток, равный 45 мА. Аккумуляторы типа 1,5 НКГН, имеющие зарядный ток, равный 150 мА, такая батарея полностью зарядить не могла. Но в то же время она им значительно прибавит растраченной за темное время работы емкости!

Батарею на напряжение 21 В можно постоянно подключить к работающим в дневное время аккумуляторам типа 1,5 НКГН. Подключать ее к работающим совместно с радиоаппаратурой аккумуляторам типа ЦНК-0,45 нежелательно, поскольку возможен перезаряд и их ускоренный выход из строя. Поэтому в экспедиции желательно использовать две аккумуляторных батареи с аккумуляторами типа ЦНК-0,45 одну для работы, а другую в это время — для зарядки.

П3.1.6. Внимание: возможен перезаряд!

Необходимо обратить внимание радиолюбителя на то, что в некоторых случаях солнечная батарея может сделать перезаряд аккумуляторной батареи, а это приведет к переполюсовке элементов аккумуляторной батареи и к выходу ее из строя. Сразу можно сказать, что при использовании 18-вольтовой солнечной батареи можно не опасаться перезаряда аккумуляторной батареи на 12 В. Как мы уже разбирали, солнечная батарея на напряжение 18 В сможет обеспечить только дозарядку аккумуляторной батареи на уровне 20% от ее номинальной мощности. После этого солнечная батарея обеспечит только тренировочный ток для аккумуляторов.

Совсем другой случай будет при использовании солнечной батареи на напряжение 21 В. Эта батарея способна обеспечить зарядный ток даже после полного заряда аккумуляторов. Необходимо отметить, что при использовании солнечной батареи, обеспечивающей зарядный ток 40 мА, можно испортить только аккумуляторы типа ЦНК-0,45. Аккумуляторы типа 1,5-НКГН, которые требуют зарядного тока величиной 150 мА, такой солнечной батареей за время экспедиции испортить трудно. Но все же необходимо соблюдать осторожность и при их зарядке.

Для того чтобы не испортить аккумуляторную батарею, необходимо вести учет времени ее работы, после этого проводить дозарядку отданной емкости. Приведу пример такого расчета. Возьмем самый простой случай. Аккумуляторная батарея, составленная из элементов ЦНК-0,45 (следовательно, имеет зарядный ток 40 мА),

питает приемник с током потребления, равным 40 мА. Предположим, этот приемник проработал вечером 4 ч. Сладовательно, утраченная емкость аккумулятора ревна 160мА/ч (40 · 4 = 160). Для восстановления утраченной емкости аккумуляторной батареи она должна получить заряд, на 150% превышающий утраченный заряд. Сладовательно, для восстановления заряда эта аккумуляторная батарея днем должна находиться под зарядным током 40 мА в течение 6 ч (160 / 40 = 4; 4 · 1,5 = 6).

А если аккумуляторная батарея использовалась для питания трансивера, который работал на передечу? Что же, необходимо учитывать время, в течение которого он работал на передачу. Допустим, трансивер потребляет 50 мА на прием и 150 мА во время передачи. Работал трансивер в течение 3 ч, из них полчаса на передачу. Следовательно, аккумуляторная батарея 2,5 ч отдавала ток 50 мА и 0,5 ч — 150 мА. Рассчитаем утраченную емкость:

— во время приема 125 мА/ч (50 · 2,5 = 125);

— во время передачи 75 мА/ч (150 · 0,5 = 75);

— общая утраченная емкость равна 200 мА/ч (125 + 75 = 200).

Для восстановления утраченной емкости аккумуляторной батареи она должна получить заряд, на 150% превышающий утраченный заряд. Следовательно, для восстановления зарядв эта аккумуляторная батарея днем должна находиться под зарядным током 40 мА в течение 7,5 ч (200 / 40 = 5; 5 · 1,5 = 7,5).

П3.1.7. Устранение эффекта памяти

К сожалению, никель-кадмиевые аккумуляторы обладают так называемым эффектом памяти. В чем это проявляется? Если аккумулятор несколько раз разряжать не полностью, допустим на 30% от его емкости, а затем снова производить его дозарядку, то аккумулятор «запомнит» разрядный цикл. Впоследствии аккумулятор будвт отдавать только 30% своего заряда даже при получении им полного заряда. Обычно в радиоэкспадициях аккумуляторы не успевают подхватить эту болезнь. Аккумулятор каждый двнь испытывает разные разрядные/зарядные циклы, причем разрядные циклы бывают довольно глубокими.

Однако после окончания экспедиции, в которой использовалась подзарядка аккумуляторов, для устранения эффекта памяти аккумулятору необходимо двть не менее двух циклов полного разрядв/заряда.

П3.2. Поддержание аккумуляторов в рабочем состоянии

Многие современные электронные устройства, такие как электронные часы, телефоны с АОН и другие, питающиеся сетевым напряжением, предусматривают подключение резервного источника питания — батарейки. Это вызвано необходимостью поддержания основных функций этих приборов на время отключения напряжения в электросети.

Наиболее экономично в этом случае вместо сухих батарей использовать никель-кадмиевые аккумуляторы емкостью 0,45—0,25 А/ч. Однако использование аккумуляторов создает добавочные проблемы: их необходимо время от времени подзаряжать. Особенно это касается старых аккумуляторов. Если в местности практикуется «веерное» отключение электрознергии, то аккумуляторы могут быстро разрядиться и при следующем «веерв» не смогут обеспечить питание радиоэлектронного устройства. Что же в этом случае можно предпринять?

П3.2.1. Тренировочный ток аккумуляторов

В этом случае аккумуляторы необходимо все время держать под тренировочным током, равным примерно 0,008 от их номинальной емкости. Например, для ЦНК-0,45 тренировочный ток равен 4 мА, для Д-0,25 тренировочный ток равен 2 мА. Тренировочный ток не только поддержит постоянную работоспособность аккумуля-

торов, устранит их саморазряд, но и обеспечит их зарядку после веерного отключения во время подачи электроэнергии. При этом нет необходимости в подзарядке аккумуляторов нормальным зарядным током, равным 0,1 от емкости аккумуляторов.

П3.2.2. Схема тренировки аккумуляторов

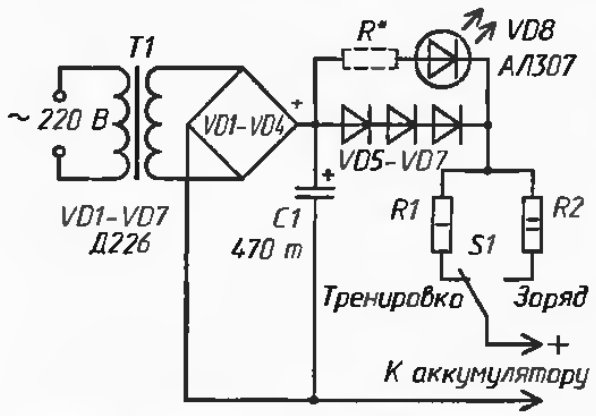


Рис. П3.8. Заряд/тренировка аккумуляторов

Схема устройства, предназначенного для зарядки и тренировки аккумуляторов, изображена на рис. П3.8. Рассмотрим ее работу. Трансформатор Т1 обеспечивает на вторичной обмотке переменное напряжения от 20 до 60 В. Величина этого напряжения некритична, так как в данном случае важно обеспечение постоянного зарядного или тренировочного тока.

Выпрямленное напряжение через ограничительные резисторы *R1* или *R2* подается на аккумуляторную батарею. Резистор *R1* обеспечивает тренировочный ток, равный 0,008 от емкости аккумуляторов. Резистор *R2* обеспечивает зарядный ток, равный 0,1 от емкости аккумуляторов. Значения сопротивления и мощности этих резисторов зависят от выходного напряжения на вторичной обмотке, которое обеспечивает трансформатор, и от типа аккумуляторов.

При помощи переключателя *S1* выбирается режим работы устройства — «заряд» или «тренировка». Режим «заряд» пригодится для первоначальной зарядки аккумуляторов и для подзарядки аккумуляторов в случае длительного отключения электроэнергии. Светодиод *VD8* контролирует процесс заряда или тренировки.

Поскольку напряжение, при котором обеспечивается нормальное свечение светодиода *VD8*, примерно равно падению напряжения на параллельно включенных диодах *VD5—VD7*, то светодиод *VD8* обеспечивает практически одинаковую яркость свечения в режимах заряда и тренировки. Если все же яркость светодиода в этих режимах будет значительно изменяться, то тогда последовательно с диодом необходимо включить резистор сопротивлением 30...50 Ом.

При компоновке устройства необходимо обеспечить отсутствие термического контакта между трансформатором питания и аккумулятором. Особенно это относится к тому случаю, когда трансформатор во время работы существенно нагревается. Перегрев более 55°С может значительно сократить срок службы аккумуляторов.

Под «тренировочным» током целесообразно использовать старые аккумуляторы, потерявшие значительную часть своей емкости и, следовательно, непригодные для работы в устройствах, требующих значительного потребления тока. Перед установкой для работы в устройство под тренировочным током аккумуляторы следует зарядить до номинальной емкости.

Использование для целей «тренировки» аккумуляторов трансформатора питания электронного устройства не всегда возможно технически, хотя и более рационально.

П3.3. Получение большой мощности от никель-кадмиевых аккумуляторов (НКА)

Каждый радиолюбитель, наверное, пытался получить от НКА большой разрядный ток! Но вероятнее всего, эти опыты по эксплуатации НКА привели только к одному — к преждевременному выходу из строя аккумуляторов.

П3.3.1. Эксплуатация аккумуляторов при больших разрядных токах

Следует твердо помнить, что при превильной эксплуатации НКА нежелательно длительное превышение разрядного тока нед зврядным током. Это связано с химическими процессами, происходящими при заряде аккумуляторов, вследствие которых аккумулятор при значительном превышении разрядного тока не способен отдвть повышенный ток из-за значительного увеличения газообразования.

А увеличение газообразования внутри аккумулятора является причиной его преждевременного выхода из строя. Действительно, газам необходимо куда то деваться. Вот они и начинают искать выход из аккумулятора наружу. Вырываясь через микроскопические трещинки в корпусе и между корпусом и диэлектрической шайбой, газы уносят с собой электролит. Это приводит к тому, что аккумулятор начинает высыхать и уже не способен взять тот заряд, который он брал раньше. На его корпусе появляются капельки электролита, которые приводят к преждевременной порче корпуса. Если корпус достаточно прочен, чтобы не дать вырваться газам наружу, они (газы) будут деформировать внутренности аккумулятора, что тоже приведет к быстрому выходу его из строя.

В летнее время интенсивная эксплуатация батареи аккумуляторов с превышением разрядного тока над зарядным в несколько раз приводит к тому, что половина аккумуляторов, состааляющих батарею, еыходит из строя. Что же можно предпринять в этом случае? Очень просто: увеличить разрядный ток можно только одним способом — увеличить зарядный. Так делается во многих импортных аккумуляторах с потрясающими надписями — типа 800 ma/h и даже 1600 ma/h... Но, как, наверное, многие уже убедились, живут такие аккумуляторы недолго, дв и надписи эти далеки от реальных возможностей аккумуляторов.

Далеко не все отечественные аккумуляторы выдерживают такие эксперименты по их зарядке повышенным током. Хотя как показывает опыт, для ЦНК-0,45 и ЦНК-0,9 увеличение зарядного тока в 2—3 раза вполне возможно. Конечно, при этом недо помнить, что аккумуляторы прослужат гораздо меньше, чем могли бы при зарядке их нормальным током, и заранве примириться с этим.

П3.3.2. Параллельное соединение аккумуляторов

Другой безопасный способ увеличения емкости аккумуляторов заключается в их параллельном соединении, как показано на рио. П3.9. Хотя в литературе и не рекомендуется такое включение, но, как показывает опыт, вполне возможно соединить вместе несколько аккумуляторов: реально до 5—6 штук. При этом разрядный ток уввличивается в соответствующее количество раз. Для параллельного соединения необходимо использовать аккумуляторы одной партии, имеющие наиболее близкие параметры. Для отбора аккумуляторов собирают стенд согласно рис. П3.10. Критерием первичной отборки служит потребляемый зарядный ток. Для этого аккумулятор *1* подключают к стабилизированному источнику напряжения *2* через постоянный резистор *3*, обеспечивающий необходимый зарядный ток, который контролируют при помощи цифрового амперметра *4*. После полной зарядки элементы оставляют на три-четыре дня. После этого измеряют напряжение холостого хода каждого заряженного элемента. Затем нагружают поочередно каждый элемент на общее сопротивление, обеспечиаающее разрядный ток, близкий к зарядному току. Измеряют точное значение разрядного тока и напряжение на нагрузке.

Пользуясь этими двнными, комплектуют аккумуляторную батарею. Аккумуляторы, которые имеют большое сопротиаление утечки (например, за несколько дней простоя сильно разрядились), и аккумуляторы, которые имеют большое внутреннее сопротивление (двют малый разрядный ток и берут малый зарядный ток), нежелательно использовать для постройки аккумуляторных батарей.

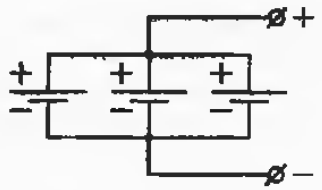


Рис. П3.9. Параллельное соединение аккумуляторов

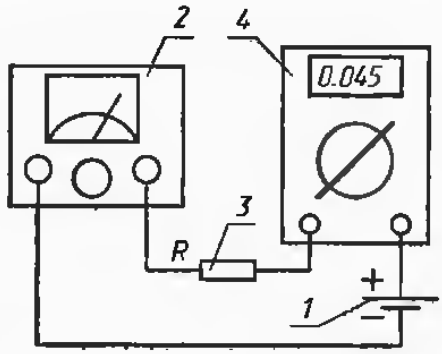


Рис. П3.10. Стенд для проверки зарядного тока

Соединять параллельно необходимо разряженные аккумуляторы. Для этого перед параллельным соединением их необходимо разрядить. Затем произвести заряд током, превышающим зарядный ток одного аккумулятора во столько раз, сколько аккумуляторов соединено параллельно. Соединять параллельно необходимо только одиночные элементы, как показано на рис. П3.9. Недопустимо производить параллельное соединение нескольких последовательно включенных аккумуляторов, как это показано на рис. П3.11. Если есть желание, последовательно с каждым аккумулятором можно включить постоянный резистор небольшого сопротиления, 2—5 Ом для ЦНК-0,45. Эти резисторы должны уравнять распределение тока во время работы и зарядки для параллельно соединенных аккумуляторов. Однако мой опыт эксплуатации аккумуляторов говорит о том, что вполне можно обойтись и без резисторов.

Главное, что не следует допускать при эксплуатации параллельно соединенных аккумуляторов, так это их глубокого разряда. Необходимо разряжать батарею не более чем на 50%, а еще лучше — не более чем на 30%, затем произвести их подзарядку. Конечно, в этом случае необходим учет работы аккумуляторов по времени и разрядного тока устройства, подключенному к ним. Обязательное условие сохранности такой батареи — это нахождение ее под тренировочным током в нерабочее время. Выполнение этих условии позволит эксплуетировать параллельно соединенные аккумуляторы так же же долго, как и одиночные.

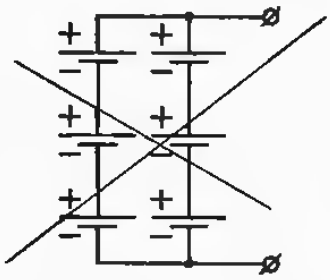


Рис. П3.11. Недопустимое соединение аккумуляторов

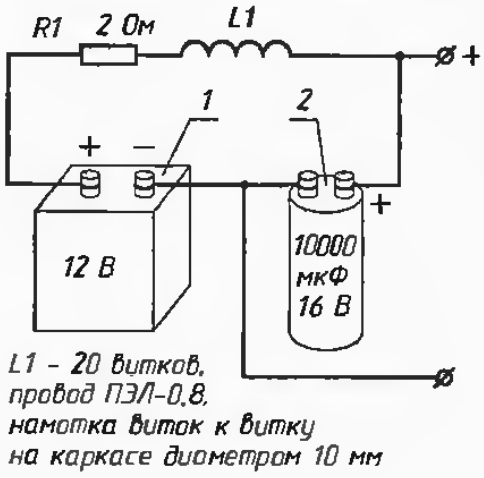


Рис. П3.12. Подключение буферного конденсатора

И в заключение необходимо отметить, что НКА плохо переносят большие импульсные токи. Импульсные токи большой величины возможны при использовании НКА для питания SSB трансиверов, при нажатии телеграфного ключа. Поэтому желательно параллельно батарее аккумуляторов подключить электролитический конденсатор емкостью 10000 мкФ и более. Для ограничения импульсного тока через батарею аккумуляторов ее подключают к конденсатору через резистор сопротивлением 1...3 Ом и дроссель, представляющий собой 10—20 витков медного провода диаметром 0,5...0,8 мм, намотанного на оправке диаметром 10 мм. Схема подключения буферного электролитического конденсатора *2* к аккумуляторной батарее (*1*) показана на рис. П3.12. Параметры схемы указаны для среднего потребляемого тока 0,1 А. При другом среднем потребляемом токе параметры этой цепочки могут быть изменены.

Приложение 4
ЦВЕТОВЫЕ КОДЫ РАДИОДЕТАЛЕЙ

В этом приложении даны цветовые маркировки современных радиодеталей. резисторов, конденсаторов и транзисторов.

П4.1. Цветовая маркировка резисторов

Маркировка на резисторе наносится четырьмя или пятью кольцеобразными полосами, по которым номинал резистора может быть определен при его установке на печатной плате. Читается маркировка резистора с конца корпуса резистора с узкими полосами. Широкая полоса всегда читается последняя. Табл. П4.1 показывает расшифровку цветовой маркировки рвзисторов. Маркировка на резисторе до множителя дается в Ом.

Таблица П4.1

Цветовая маркировка резисторов

Цвет знака	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра	Множитель	Погрешность, %
Серебристый	—	—	—	10^{-2}	10
Золотистый	—	—	—	10^{-1}	5
Черный	—	0	—	1	—
Коричневый	1	1	1	10	1
Красный	2	2	2	10^2	2
Оранжевый	3	3	3	10^3	—
Желтый	4	4	4	10^4	—
Зеленый	5	5	5	10^5	0,5
Голубой	6	6	6	10^6	0,25
Фиолетовый	7	7	7	10^7	0,1
Серый	8	8	8	10^8	0,05
Белый	9	9	9	10^9	—

П4.2. Цветовая маркировка конденсаторов

В последнее время начали использовать цветовую маркировку для конденсаторов. На разных типах конденсаторов расположение цветовых полос или точек может быть разным. Рис. П4.1 показывает примеры цветовой маркировки некоторых типов современных кондвнсаторов.

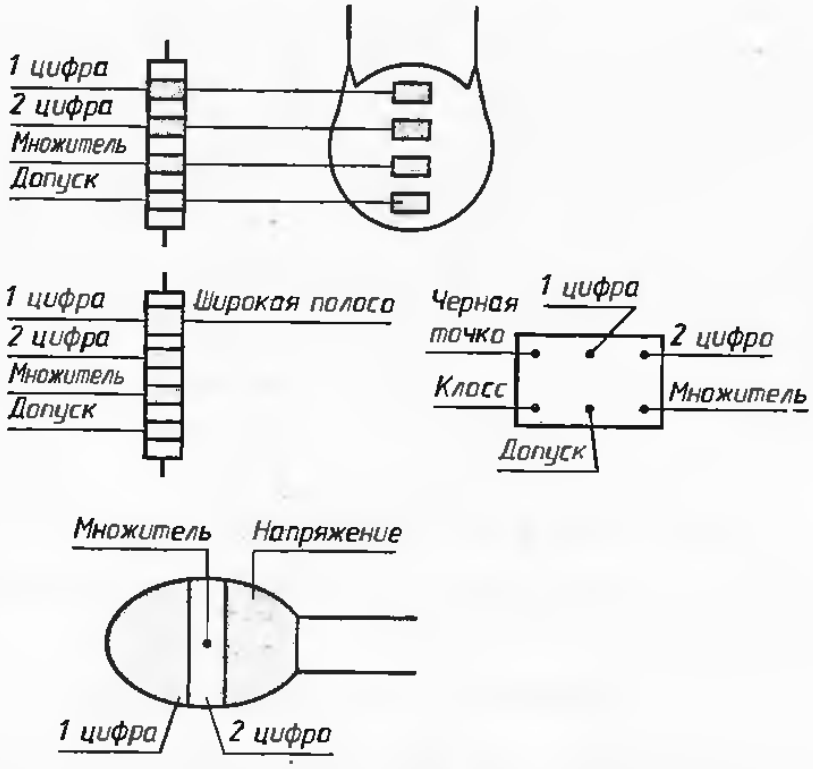


Рис. П4.1. Цветовая маркировка конденсаторов

Маркировка емкости конденсатора указывается при помощи двух разрядов (двумя цветами) в пикофарадах. Множитель показывает общую емкость конденсатора. При необходимости может быть указан допуск и максимальное рабочее напряжение и ТКЕ конденсатора. Цветовая маркировка конденсаторов приведена в табл. П4.2. Для быстрого определения емкости конденсатора, обозначенной цветом, можно пользоваться табл. П4.3.

Таблица П4.2

Цветовая маркировка конденсаторов

Цвет знака	1-я цифра	2-я цифра	Множитель	Допуск, %	Напряжение, В
Черный	0	0	1	20	4
Коричневый	1	1	10	1	6,3
Красный	2	2	10^2	2	10
Оранжевый	3	3	10^3	0,25	16
Желтый	4	4	10^4	0,5	40
Зеленый	4	5	10^5	5	20
Голубой	6	6	10^6	-	30
Фиолетовый	7	7	10^7	+50/-20	50
Серый	8	8	10^8	+80/-20	3,2
Белый	9	9	—	—	63
Серебристый	—	—	—	—	2,5
Золотистый	—	—	—	—	1,6

Таблица П4.3

Таблица для быстрого определения емкости конденсатора

Значение емкости (μF)	Первая метка (1-я цифра)	Вторая метка (2-я цифра)	Третья метка (множитель)
0,010	коричневая	черная	оранжевая
0,015	коричневая	зелен.	оранжевая
0,022	красная	красная	оранжевая
0,033	оранжевая	оранжевая	оранжевая
0,047	желтая	фиолетовая	оранжевая
0,068	синяя	серая	оранжевая
0,10	коричневая	черная	желтая
0,15	коричневая	зеленая	желтая
0,22	красная	красная	желтая
0,33	оранжевая	оранжевая	желтая
0,47	желтая	фиолетовая	желтая
0,68	синяя	серая	желтая
1,0	коричневая	черная	зеленая
2,2	красная	красная	зеленая

П4.3. Стандартная цветовая маркировка отечественных транзисторов малой мощности

В настоящее время многие маломощные транзисторы производства стран СНГ и бывшего СССР имеют на корпусе цветовую маркировку в виде точек разных цветов. Табл. П4.4 показывает расшифровку цветовой маркировки для транзисторов, показанных на рис. П4.2,а; табл. П4.5 показывает расшифровку цветовой маркировки для транзисторов, показанных на рис. П4.2,б.

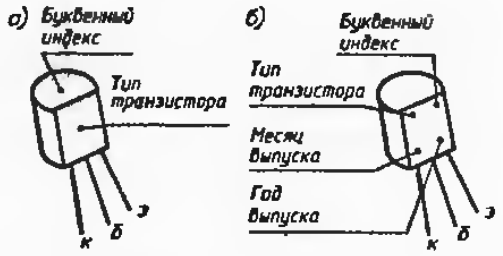


Рис. П4.2. Цветовая маркировка транзисторов

Таблица П4.4

Расшифровка цветовой маркировки транзисторов из рис. П4.2,а

Транзистор		Буквенный индекс	
Бордо	КТ203	Бордо	А
Серый	КТ209	Желтый	Б
Оранжевый	КТ313	Зеленый	В
Коричневый	КТ336	Голубой	Г
Голубой	КТ339	Синий	Д
Синий	КТ342	Белый	Е
Желтый	КТ502	Коричневый	Ж
Белый	КТ503	Серебристый	И
Зеленый	КТ3102	Оранжевый	К
Серабристый	КТ632	Табачный	Л
Табачный	КП364	Серый	М

Таблица П4.5

Расшифровка цветовой маркировки транзисторов (рис. П4.2,б)

Транзистор		Буквенный индекс	
Коричневый	КТ326	Розовый	А
Красный	КТ337	Желтый	Б
Бежевый	КТ345	Синий	В
Синий	КТ349	Бежевый	Г
Серый	КТ350	Оранжевый	Д
Желтый	КТ351	Сине-зеленый	Е
Зеленый	КТ352	Салатный	Ж
Розовый	КТ363	Зеленый	И
Белый	КТ645	Красный	К
Голубой	КТ3107	Серый	Л

Приложение 5
ПОЛЕЗНЫЕ ФОРМУЛЫ И ДИАГРАММЫ

В этом приложении приведены полезные формулы и диаграммы, которые могут пригодиться радиолюбителю в его работе.

П5.1. Диаграммы для мощности и напряжения

Эта универсальная диаграмма на рис. П5.1 показывает перевод напряжений и токов в относительное значение децибел. Линии напряжения показывают пиковое и среднее высокочастотное напряжение, существующее на нагрузке 50 Ом, при соответствующей рассеиваемой на ней мощности ([1], стр. 62).

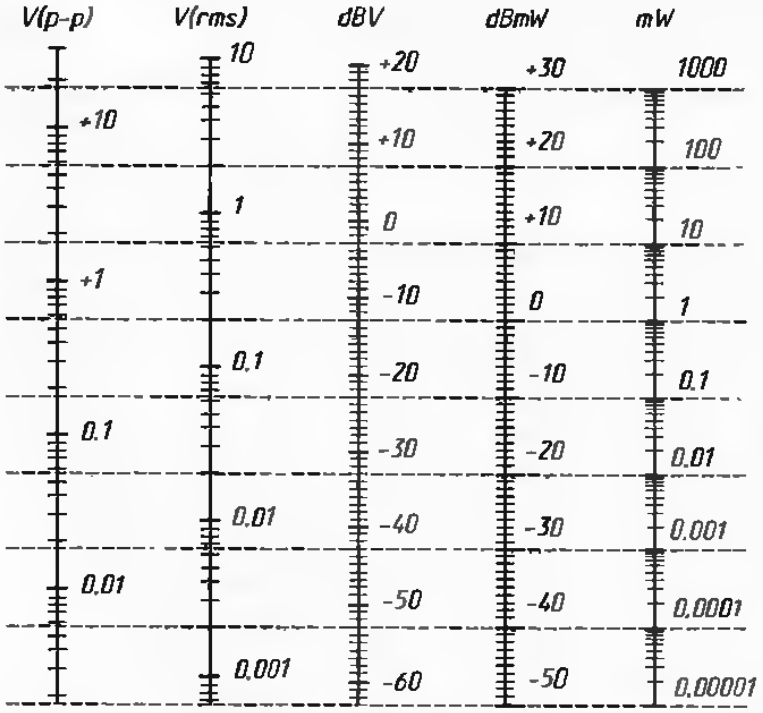


Рис. П5.1. Диаграмма напряжений и мощности на нагрузке 50 Ом

П5.2. Расчет трансформатора с Ш-образным сердечником:

1. Мощность трансформатора, Вт,

$$P = 1{,}15P_n ,$$

где P_n — мощность, рассеиваемая в нагрузке, Вт.

2. Площадь сечения сердечника, см^2,

$$S = \sqrt{P},$$

где P — мощность трансформатора, Вт.

Для трансформаторов с рассеиваемой мощностью свыше 100 Вт для быстрого расчета мощности можно считать, что каждый 1 см^2 площади сердечника обеспечивает для трансформатора рассеиваемую мощность 10 Вт.

3. Число витков на 1 В напряжения

$$W = 50/S.$$

где S — площадь сечения трансформатора, см^2.

4. Число витков первичной обмотки

$$W = W_1U_1,$$

где U_1 — напряжение на первичной обмотке, В.

Число витков вторичной обмотки

$$W = W_2U_2,$$

где U_2 — напряжение на вторичной обмотке, В.

5. Ток в первичной обмотке, А,

$$I_1 = P/U_1,$$

где P — мощность трансформатора, Вт.

Ток во вторичной обмотке, А,

$$I_2 = P_n/U_2,$$

где P_n — мощность, рассеиваемая в нагрузке, Вт,

6. Диаметр провода, мм, для первичной обмотки

$$D_1 = 0{,}8\sqrt{I_1}.$$

Диаметр провода, мм, для вторичной обмотки

$$D_2 = 0{,}8\sqrt{I_2}.$$

Ток в этих формулах берется в амперах.

П5.3. Сопротивление провода

Сопротивление провода R, Ом, длиной L, м, и диаметром d, мм, находится по формуле:

$$R = 1{,}25\rho L/d^2.$$

Величина ρ носит название «удельное сопротивление» и представляет собой сопротивление провода длиной 1 м и диаметром 1 мм.

Значения удельного сопротивления p, Ом·мм²/м, для некоторых металлов приведены ниже:

Алюминий — 0,028	Бронза — 0,115	Золото — 0,024
Латунь — 0,03—0,06	Медь — 0,0175	Никель — 0,07
Олово — 0,115	Свинец — 0,21	Цинк — 0,059
Серебро — 0,016	Хром — 0,027	Сталь — 0,098
Константан — 0,44—0,52	Манганин — 0,4—0,5	
Никелин — 0,39—0,45	Нихром — 1,0—1,1	
Реотан — 0,45—0,52	Фехраль — 1,1—1,3	

Формула, приведенная выше, верна при темпервтуре провода, равной 20 °С. При увеличении температуры провода его сопротивление возрастает.

Используя денные о величине сопротивления провода, можно самостоятельно изготовить низкоомные резисторы, которые используются в качестве шунтов для миллиамперметров или в качестве мощных балластных резисторов. Для расчета длины проводника удобно пользоваться преобразованной формулой:

$$L = \frac{Rd^2}{1{,}25\rho},$$

где ρ — удельное сопротивление провода, Ом · мм²/м;

R — сопротивление провода, Ом;

D — диаметр провода, мм;

L — длина провода, м.

Для определения максимального тока, протекающего через такой резистор, можно пользоваться формулой для определения диаметра провода при изготовлении тренсформатора (см. пункт 6 этого параграфа).

П5.4. Самодельные предохранители

Ток плавления I, А, для провода диаметром d, мм, находящемся в пределах 0,02—0,2 мм, можно рассчитать по следующей формуле:

$$I = \frac{d - 0{,}005}{k},$$

где k — коэффициент, зависящий от материвла, из которого изготовлен провод Ниже приведены значения этого коэффициента для некоторых материалов.

Серебро, k = 0,031
Медь, k = 0,034
Латунь, k = 0,05
Константан, k = 0,07
Никелин, k = 0,06
Железо, k = 0,121

Для более толстых проводов диаметром d, мм, ток плавления I, А, можно рассчитать по следующей формуле:

$$I = k\sqrt{d^3},$$

где k — коэффициент, зависящий от материвлв, из которого изготовлен провод. Ниже приведены значения коэффициента k для некоторых материалов.

Алюминий, k = 60
Медь, k = 80
Никелин, k = 41
Железо, k = 25
Свинец, k = 11
Олово, k = 13

ЛИТЕРАТУРА

1. Analog Dialogue -- Vol. 35. — 2001.